UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

"Mantenimiento basado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad en línea de producción de la planta industrial ladrillos Lark – Lambayeque"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Br. Rubén Martínez Calvay (ORCID: 0000-0002-1448-9877)

ASESOR:

Msc. James Skinner Celada Padilla (ORCID: 0000-0002-5901-2669)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y planes de mantenimiento

CHICLAYO – PERÚ

2019

Dedicatoria

Este proyecto lo dedico a mi esposa Fany Tejada y a mi hijo Rubén Anani quienes tuvieron mucha paciencia y perseverancia desde el inicio hasta el final de esta carrera.

También a mis padres por iniciar con la formación básica para poder continuar y ahora terminar este proyecto que siempre anhelaron.

El autor.

Agradecimiento

A Dios primeramente por darme la vida la salud y el cuidado en todo este tiempo que paso desde que emprendí este proyecto.

A mi familia esposa, hijo, papás, hermanos, amigos, jefes de trabajo y maestros educadores por darme la oportunidad de crecer como profesional y como persona.

Página del jurado

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO · UCV CHICLAYO COORDINACIÓN · INGENIERÍA MECÁNICA ELECTRICA

UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Mgtr. Dante Omar Panta Carranza
Coordinador de Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 10:00 horas del día 19 de diciembre de 2019, de acuerdo a lo dispuesto por la Resolución de Carrera Profesional Nº 216-2019-UCV-EPIME, de fecha 12 diciembre, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis "**MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL LADRILLOS LARK-LAMBAYEQUE**", presentada por el **Br. Martínez Calvay Rubén** con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero Mecánico Electricista, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

- **Presidente** : Mg. Dante Omar Panta Carranza
- **Secretario** : Dr. Daniel Carranza Montenegro
- **Vocal** : Mg. Edilbrando Vega Calderon

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

Aprobado por unanimidad

Siendo las 11:00 horas del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 19 de diciembre de 2019

Mg. Dante Omar Panta Carranza
Presidente

Dr. Daniel Carranza Montenegro
Secretario

Mg. Edilbrando Vega Calderon
Vocal

CAMPUS CHICLAYO
Carretera Chiclayo Pimentel Km. 3.5
Telf.: (074) 481616 / Anexo: 6514

fb/ucv.peru
@ucv_peru
#saliradelante
ucv.edu.pe

Declaratoria de autenticidad

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, **RUBÉN MARTÍNEZ CALVAY**, estudiante de la Escuela Profesional de **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N° **45457018**, con el trabajo de investigación titulada, "**MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL LADRILLOS LARK – LAMBAYEQUE".**

Declaro bajo juramento que:

1) El trabajo de investigación es mi autoría propia.
2) Se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes utilizadas. Por lo tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3) El trabajo de investigación no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4) Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De identificarse la falta de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (representar falsamente las ideas de oro), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normalidad vigente de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo 19 de diciembre de 2019

Rubén Martínez Calvay
DNI: 45457018

Índice

Índice de Figuras

Índice de Tablas

Índice de Gráficos

RESUMEN

El presente proyecto de investigación contempla el análisis y selección de las técnicas de mantenimiento para la línea de producción de ladrillos de la empresa Inversiones Mocce S.A Ladrillos Lark, está compuesto por 6 Capítulos:

En el primer se dan a conocer la introducción de la realidad problemática y trabajos previos también se dan los alcances teóricos asociados al mantenimiento basado en la confiabilidad RCM, justificación de estudio y se planteamiento de los objetivos para el desarrollo de este proyecto, así como también los alcances y el motivo del proyecto.

En el segundo capítulo se hace mención del método de investigación, conjuntamente de sus variables, población y muestras que se usaron en este estudio, las técnicas e instrumentos que se usaron para la recolección de datos también se detallan.

Los resultados están en el tercer capítulo, se determinó la situación actual del mantenimiento y la disponibilidad de los sistemas y equipos usando técnicas de Pareto, seguidamente se realiza un análisis de los equipos más críticos usando técnicas basadas en el riesgo jerarquizando los sistemas. Se hace la propuesta del RCM aplicado según el contexto operacional, se efectúa el AMEF y se selecciona las tareas y se propone el uso de un CMMS para el control del mantenimiento y capacitación al personal. Se rediseña el subsistema más crítico de la línea de producción con sustento a través de modelos estocásticos que permitan modelar los datos de vida del subsistema, finalmente se evalúa económicamente la viabilidad del proyecto.

En el capítulo cuatro, cinco y seis se detallan la discusión de los resultados, las conclusiones y recomendaciones.

Palabrasclaves: (RCM)Mantenimiento centrado en la confiabilidad, AMEF, CMMS y Disponibilidad.

ABSTRACT

This research report covers the analysis and selection of technical services for the production and production of the company Inversiones Mocce S.A Ladrillos Lark, is composed of 6 chapters:

In the first, the introduction of the problematic realities are presented and the previous works are also given the theoretical scope associated to the maintenance based on RCM reliability, justification of study and planning of the objectives for the development of this project. As well as the reasons and the reason for the project.

In the next part, if you report on the research method, together with the variables, the record and the decisions in which we are not involved in the study, the technical and instrumental criteria do not know what to do with it.

The results are in the third chapter, if it determines the real situation of the maintenance and the availability of the systems and equipment that use the Pareto techniques, later, if it makes an analysis of the most crisis teams using techniques based on the risk of hierarchical systems. If you have the RCM proposal, it is applied according to the operational context, if the FMEA is carried out and you select the tasks and if it is proposed and the use of a CMMS to control the maintenance and capacity of the personnel. If the most critical subsystem of the production line is redesigned with the support through stochastic models that allow to moderate the data of the life of the subsystem finally if it evaluates the viability of the project.

In chapter four, five and six, if the discussion of the results, conclusions and recommendations are detailed.

Keywords: (RCM) Reliability centered maintenance, FMEA, availability y CMM

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática.

Internacional

El Reino Unido tiene una gran población en poco territorio, pero tiene infraestructuras históricas que combina con los más nuevos, cuenta con sistema vial y ferroviario y una distribución densa para energía eléctrica, agua, gas y telecomunicaciones a medida que paso el tiempo fueron envejeciendo y los sistemas fallaron, esto creo una gran cantidad de interrupciones e inconvenientes e incluso lesiones y muertes. Por este motivo el 2004 Reino Unido produjo la primera "especificación" del mundo para la gestión de mantenimiento de activos, PAS 55-1 y 55-2, estas especificaciones se usaron por primera vez en los servicios públicos, inculcaron un disciplina en la gestión de activos que comenzó a mostrar muchos beneficios y su rápida adopción por parte de las empresas de servicios del Reino Unido, esto tiene mucha atención en todo el mundo, para el 2014 la Organización Internacional de Estandarización (ISO) utilizó las especificaciones del Reino Unido como modelo para producir una serie de estándares ISO 55000, 55001 y 55002 que describen requisitos para una buena gestión de mantenimiento de activos (Sifonte, y Reyes, 2017, p.03).

En la actualidad la gestión de mantenimiento basado en el RCM se observa como una luz positiva, como un centro de inversión y no como gastos es tan importante para el desarrollo de las empresas, cuando hay una gestión eficiente se tendrá un alto índice de eficiencia en un proceso porque se usará al máximo los recursos, esto es para garantizar todo el sistema productivo y se entregue un alto nivel de disponibilidad y confiabilidad de los activos, el mejor mantenimiento en las organizaciones exhiben características similares a un alto rendimiento de una instalación u organización de mantenimiento a bajo costo (Deighton, 2016, p. 91).

La disponibilidad se ha convertido en un indicador subvalorado, donde las gerencias no denotan las diferencias reales que hay entre 02 indicadores, si analizamos la eficiencia neta de un proceso donde la variación en muy corta, por ejemplo 92.7% y el siguiente indicador es 92.9% se dirá que solo se incrementa décimas, pero cuanto se deja de ganar en un mes o un año, cuanta energía se dejaría de consumir o cuantos kg de CO_2 ya no se emitieran al planeta, los beneficios son muchos de donde lo observemos (Serrano,2018, párr.03).

En la actualidad la mayoría de empresas no tienen una gestión de mantenimiento adecuada, por lo que se usa hojas de cálculos o cuadros manuales, conforme avanza el tiempo esto se vuelve más complejo por la gran cantidad de datos y no se puede analizar causas de fallas, con el paso de los años los procesos de producción requieren aprovechar al máximo la eficiencia es por esto donde la gestión en mantenimiento ha ido modernizándose por el aumento la complejidad, usando la tecnología atreves de aplicativos en sistemas computarizados de gestión del mantenimiento (Computarized Maintenance Management Systems - CMMS) como herramienta para la optimización de la gerencia de activos físicos, desarrollándose una gran variedad de soluciones para el mejorar el control (Ardila,Marín, Rodríguez e Hincapié, 2016, p. 01).

Nacional

En nuestro país no hay una cultura de gestión de mantenimiento adecuada sabiendo que con un buen sistema de gestión de activos se incrementa la productividad de cualquier proceso, ya que de esta forma se puede incrementar la eficiencia y eficacia usando diagramas de Ishikawa y diagrama Pareto, donde identifican todas las causas que originan el problema de baja productividad. Durante una investigación por la baja productividad en una de las plantas de la empresa CORPORACION REX S.A se concluyó que con la implementación de un sistema de mantenimiento se logró mejorar la productividad en un 26.08% y la eficiencia se incrementó a un 12.32% finalmente la eficacia mejoro a 12.66% (Diaz, 2017, p.128).

En la región Cajamarca se considera que hay alta demanda de ladrillos por el incremento de construcción, pero los estándares de calidad de fabricación son muy bajos en las diferentes plantas de fabricación, la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE hizo una investigación del tipo cuasi experimental realizando diferentes flujogramas lo cual permitió conocer el proceso de fabricación de ladrillo también realizó el estudio financiero para determinar las inversiones, dando un resultados positivos con un VAN de s/ 33 350 216.05 y una tasa interna de retorno (TIR) 1026%, en la relación costo beneficio se obtiene que por cada sol invertido se obtiene 52 céntimos, y el periodo para recuperación del capital es de 5 años, con esto concluyó que la empresa carece de sistemas de mantenimiento de la maquinaria a pesar de que existe importantes avances tecnológicos en los sectores productivos (Cachay y Velezmoro, 2018, p.9).

Local

Con la aprobación de la reconstrucción en esta zona y el crecimiento urbano, se incrementará la demanda de ladrillos, pero también se incrementará la competencia, para ello se requiere obtener altos niveles de productividad usando eficientemente los equipos, no siempre el progreso de una empresa está ligada a la adquisición de nuevas tecnologías o equipos nuevos tiene mucho que ver el eficiente uso de los activos (Gonzales, 2016, p. 17).

En la planta industrial de fabricación de ladrillos que lleva como marca LADRILLOS LARK, es una empresa que fabrica uno de los mejores productos del sector en cualquiera de los formatos establecido por la normas de ITINTEC 331.017 encargadas de la regulación para fabricación de ladrillos, pero para producir cierta cantidad de producción se tiene grandes mermas en los procesos y baja eficiencia según los informes de producción está en un promedio del 65% de la eficiencia total que incluye desde materia prima hasta el producto terminado, y gran parte de esta pérdida de producción es por un bajo rendimiento de la gestión del mantenimiento que se está llevando en forma manual con formatos y hojas borrador (Fuente propia).

La línea de producción en húmedo está diseñada para producir 37 ton/h promedio, pero actualmente se produce 24 ton/h perdiendo una gran productividad que tiene mucho que ver con la mala operatividad ocasionado por falta de capacitación y manejo del personal por parte de sus jefaturas y la otra variable es las fallas imprevistas de los equipos producto de un déficit en mantenimiento. Para mantenerse como empresa sostenida dentro de la alta competitividad es muy necesario desarrollar técnicas que tengan ventajas delante de la competencia mejorando la calidad y la eficiencia del proceso, por lo tanto, se diseñará el mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos, este método de tiene la vocación de analizar las fallas desde sus causas raíz llegando a las soluciones definitivas (Fuente propia).

Actualmente el mantenimiento en la planta ladrillos LARK no es la adecuada, porque las averías que se producen en los equipos durante el proceso son notificados por teléfono al personal responsable quien delega los trabajos, pero no se documenta, muchas de las fallas ocurren en turnos donde el personal no está en planta y se producen retrasos en la localización, las averías no registradas pueden ser olvidadas, esto conduce al descontrol de las tareas porque pueden aparecer inesperadamente, el mantenimiento que se realiza en gran

parte de la planta se realiza solo cuando hay una avería ya que no hay planes de mantenimiento disponibles esto lleva a los siguientes resultados:

- Las personas de mantenimiento no pueden contestar sus teléfonos por situaciones personales ya que están fuera de turno, consecuentemente las averías no son respondidas rápidamente.
- Cuando suceden varios problemas a la vez, el personal de mantenimiento olvida las averías ya que no hay registros disponibles.
- La estadística para el análisis de falla no se aplica porque no existe historial de partes o elementos cambiados por fallos producidos.
- La productividad del personal no se puede cuantificar ya que no se sabe qué personal ha corregido las fallas.
- Las averías se producen continuamente ya que no hay un plan de mantenimiento disponible.

Si se desea alcanzar una calidad total en mantenimiento tiene que dar valor al personal operario con capacitaciones y brindarles la confianza, porque son los están a diario en contacto con las máquinas, deberían ser los primeros en detectar anomalías básicas, considerando que estas son el inicio de la cadena para que se produzca una falla parcial o total de un activo (Fuente propia).

1.2 Trabajos previos

Internacional

(Rincon, 2016, p. 68) En su tesis para obtener el título de ingeniera mecánica "plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para el horno rotatorio Allis Chalmers en la planta de cemento Cucuta, Cemex Colombia S.A" Universidad Francisco De Paula Santander Colombia, concluyo, que el estudio de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM realizado con personal de mantenimiento es una herramienta necesaria para definir una estrategia de mantenimiento para poder alcanzar los objetivos de confiabilidad y disponibilidad de esta forma se aprovecharan al maximo lo recursos cuando a un equipo se realicen las tareas prevencion.

Con el análisis de Modos de Fallas de RCM II le permitio tener una información completa de las causas de las fallas, en el caso del Horno usando el diagrama logico, bajo esta metodología definió una estrategia de Mantenimiento para el Horno rotatorio Allis-Chalmers en la fábrica de cemento CEMEX planta Los Patios conformada por tareas a condición, de mantenimiento cíclico, predictivo y correctivo.

Nacional

(Asato y Villanueva,2018) En su tesis para obtener título de Ingeniería Mecánica "Diseño y optimización de un plan de mantenimiento de una planta de producción de ladrillos crudos de 40 T/H basado en el mantenimiento centrado en confiabilidad" Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) – Lima, hicieron un estudio y selección de estrategias de mantenimiento aplicado a los conceptos de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) también se hizo un estudio de repuestos y cadena de suministros que es indispensable para estrategias de mantenimiento, se evaluaron los equipos de planta para observar su criticidad, para ello se realizó un análisis de dispersión del tiempo y un análisis de Pareto, se desarrolló modelos estocásticos que permitieron modelar curvas de la vida de los equipos esto permitirá seleccionar los periodos correctos de recambios o mantenimiento preventivos. Finalmente se determinó el plan definitivo de mantenimiento donde se consolidan las tareas donde se analizará la información de los análisis y evaluación de los resultados.

(Layme Romero, 2014) Sustento su tesis para obtener título de Ingeniero Industrial "Propuesta de mejora del plan de Mantenimiento basado en el RCM en la línea de Extrusión 1" de la Universidad Peruana de ciencias aplicadas (UPC)-Lima, propuso aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad como una alternativa de solución para incrementar la disponibilidad de la línea de extrusión de un 80.32 % a un total de 88.6%, este porcentaje de disponibilidad representa una pérdida de 9,708,120.00 nuevos soles por lo tanto el costo de inversión en el análisis económico se obtiene que es 11.48 veces menor al beneficio del proyecto esto lo hace muy rentable para la organización.

Local

(Gonzales, 2016, p.07) En su tesis "Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa LA TERCER S.A.C", Universidad Católica Santo Toribio de Mogrobejo (USAT) - Chiclayo, durante su investigación sobre la gestión del mantenimiento que se lleva en esta empresa, encontró atreves de sus indicadores que los trabajos de mantenimiento son netamente correctivos, esto ocasiona paradas imprevistas que retrasan la entrega de los productos hacia el mercado, para mejorar esta gestión propuso crear un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad teniendo resultados con un incremento del 12% en la productividad de planta.

1.3 Teorías relacionadas

1.3.1 Mantenimiento

La definición según el diccionario mantenimiento es "el trabajo de mantener algo en condiciones adecuadas" en el lenguaje de gestión de mantenimiento, este se define en forma general como combinaciones de todas las técnicas y actividades administrativas destinadas a mantener un activo o un sistema, recuperar algo a un estado funcional de acuerdo a su diseño.

"El mantenimiento implica acciones para controlar y prevenir el proceso de deterioro que conduce a falla de un objeto, restaura a su estado operativo a través de la corrección acciones después de un fallo, primero se llama mantenimiento preventivo (PM) y el segundo mantenimiento correctivo (CM), comúnmente mantenimiento también se refiere al departamento responsable de la gestión del mantenimiento" (Ben-Daya, Kumar y Murthy, 2016, p.12).

1.3.2 Proceso de mantenimiento

> El mantenimiento es un proceso inclusivo de reparación, reemplazo y proceso de renovación para satisfacer las demandas en una empresa, tales como mayor disponibilidad de activos, más seguridad, mejor calidad y bajo costo. Para lograr estas demandas las estrategias de mantenimiento son esenciales en diferentes niveles jerárquicos de la organización […]. La mejora en el proceso de mantenimiento se puede lograr mediante técnicas avanzadas, modelos, métodos y metodologías, la planificación y programación de diferentes acciones de mantenimiento son claves para el desarrollo del proceso de mantenimiento, este puede ser controlado y evaluado por la observación e inspección de las actividades, estas actividades son reportadas por cualquier falla o acciones de mantenimiento que se estén ejecutando, las

actividades se pueden categorizar en actividades administrativas, actividades logísticas, actividades de reparación o reemplazo de activo (Kapur, Kumar y Gurinder, 2018, p.286).

1.3.3 Evolución del mantenimiento

El mantenimiento ha evolucionado significativamente en los últimos 50 años, en primera instancia el término mantenimiento por lo general se percibía como que tenía inferencias negativas, comúnmente siendo pensado como la necesidad de atender y reparar equipos averiados, un centro de costos muy caro y una gran pérdida de recursos de las instalaciones, se ha cambiado del reactivo que se usaba "arréglalo cuando se rompe" siempre usando el método correctivo […], observemos la figura 1, un resumen del panorama del mantenimiento que evoluciona a lo largo de los años, los inicios del mantenimiento involucraba principalmente el mantenimiento correctivo en respuesta a la falla del equipo con rutinas básicas de mantenimiento […], con la apreciación de los beneficios detrás del mantenimiento planificado el enfoque pasó a un mantenimiento dependiente del tiempo, que implica la planificación rutinas de mantenimiento y actividades de intervención sobre un equipo con el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos (Deighton, 2016, p.90).

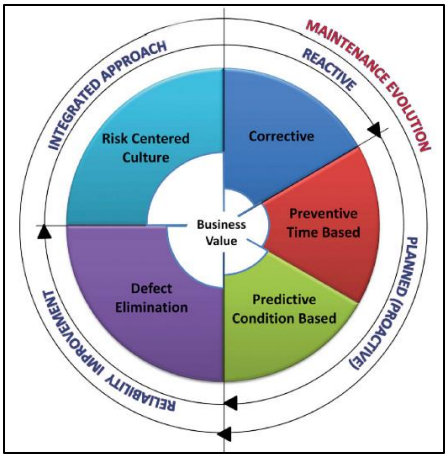


Figura 1: Evolución del mantenimiento

Fuente: Deighton (2016)

1.3.4 Gestión de mantenimiento

"Es un proceso empresarial con entradas y salidas, los insumos son costos, las salidas son el rendimiento del equipo y productividad entre los dos viene el complejo trabajo de asegurarse de que el equipo funciona al máximo rendimiento […]" (Campbell, y Reyes, 2016, p. 198).

Para Zuo, Ma, Mathew y Huang (2016), "Está referida al proceso de programación y asignación de recursos para las actividades de mantenimiento, reparación, sustitución y mantenimiento preventivo de los activos e infraestructuras […]" (p.14).

Para satisfacer las crecientes demandas de rendimiento y productividad de la industria, ha habido un crecimiento permanente de activos y sistemas, el mantenimiento se ha convertido en el pilar de la industria […] La gestión del mantenimiento necesita una atención adecuada para prevenir cualquier interrupción de las operaciones, que posteriormente causaría grandes pérdidas económicas.

La gestión del mantenimiento a sufrido cambios durante los últimos años, a mitad del siglo XX, el concepto reciente de mantenimiento preventivo, fue seguido por el mantenimiento predictivo (PdM). Este sistema se basó en la capacidad de modelos de simulación de fallas e inspecciones para predecir el estado de los equipos con esto no solo aumentó la disponibilidad de equipos […] sino también proporcionó un mejor control de la seguridad y riesgos ambientales, el mantenimiento actual opta por estrategias que consisten en un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), monitoreo del tiempo real basado en la condición (CBM) y mantenimiento productivo total (TPM) (Kumar, y Deepak, 2016, p.173).

1.3.5 Objetivo del mantenimiento

"[…] El principal objetivo de la función de mantenimiento en cualquier organización es, maximizar el rendimiento de los activos y optimizar el uso de los recursos de mantenimiento […]" (Zuo *et al*, 2016, p.14).

1.3.6 Función del mantenimiento

La función de mantenimiento en cualquier planta o instalación […] apunta a una competencia central como cualquier aspecto de la operación comercial que se traduce en una ventaja estratégica de mercado. Estos incluyen mejorar cualquier iniciativa de calidad, aumentar capacidad, reduciendo costes, y eliminando residuos, […] el mantenimiento es clave en el ciclo de vida de cualquier organización, la función puede contribuir en la rentabilidad general de la planta la cooperación y enfoque de todos los departamentos y funciones dentro de un la organización es necesaria para tener éxito, la gestión de activos tendría que reconocer el mantenimiento como un proceso central de negocios (Wireman, 2015, p.86).

La función de mantenimiento también es desafiada desde la perspectiva de la reducción del tiempo en los proceso de producción, con el fin de maximizar el rendimiento y el flujo de caja esto agrega una mayor vulnerabilidad de los equipos, estos aspectos proyectan nuevos niveles de perfección en el mantenimiento, tanto técnico como organizacional, con esto se observa la importancia de la gestión del mantenimiento como un facilitador para contribución futura a la mejora de la relación producción y mantenimiento, existen varias estrategias sobre cómo ejecutar la producción y cómo incluir el mantenimiento para encontrar el equilibrio […] (Kumar, Ahmadi, Verma y Varde, 2016, p.266)

1.3.7 Costos de mantenimiento

Se pueden dividir en dos categorías principales. Costos directos, estos costos son debido a acciones de mantenimiento y reparación, ampliamente representados por el costo de la mano de obra, el costo de los materiales y piezas de repuesto, el costo de los contratistas, y los costes de las infraestructuras utilizadas […]. Costos indirectos, son los costos que resultan de las consecuencias asociadas con fallas o acciones de mantenimiento no planificadas e incluyen la pérdida de ingresos debido a las paradas de producción, debido a acciones de mantenimiento y reparación, costo de accidentes, estadías, pólizas de seguro, y así los costos de mantenimiento que se muestran en la Tabla 2 son los costos directos, los costos indirectos son normalmente más alto y dependerá del objeto de ingeniería, estos costos indirectos son difíciles de medir pero en general son aproximadamente iguales o mayores que los costos directos, los costos de mantenimiento aumentan con el tiempo debido al efecto envejecimiento y al aumento de los costos laborales, esto implica que el mantenimiento es un tema importante para las empresas y agencias gubernamentales (Ben-Daya *et al*, 2016, p.13).

Tabla 1 *Mantenimiento como porcentaje del costo operativo*

Sector industrial	Costos de mantenimiento (%)
Minería (altamente mecanizada)	20–50
Metales primarios	15-20
Utilidades eléctricas	5-15
Procesamiento de fabricación	3–15
Fabricación / montaje	3–5

Fuente: Ben-Daya (2016)

1.3.8 Impacto de las fallas en las ventajas competitivas

Las fallas en el proceso de producción pueden ocurrir debido a causas que surgen de diferentes razones, por ejemplo, máquinas, operadores, personal de mantenimiento, gestión y ambiente de trabajo, […]. En general el Impacto de falla infiere directamente al costo de producción, calidad del producto y seguridad de operaciones […] (Zuo *et al*, 2016, p.03).

Tabla 2. *Clasificación de fallos respecto a su impacto en la competitividad.*

Problemas de diferentes áreas de trabajo, por ej.			
mantenimiento	operación	calidad	Otras áreas de trabajos (Ambiente, Administración, etc.)

La base de datos de fallos se puede clasificar en:				
Fallos afectan calidad producto	Fallos afectan tiempos entrega	Fallos Afectan Costo de producción	Fallos afectan aceptación sociedad	Fallos Afectan valor activo

Los impactos de falla en las ventajas competitivas pueden ser evaluados				
Pérdidas debido al mala calidad de productos	Pérdidas (penalizaciones) debido la demora en la entrega	Pérdidas en ganancias debido a alto costo de producción	Gastos extras debido a negatividad del impacto en el ambiente	Bienes con bajo valor debido al deterioro de las máquinas

Fuente: Zuo *et al*, (2016).

1.3.9 Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento se conoce como "mantenimiento basado en condición "o" mantenimiento a condición", esta forma de mantenimiento proactivo se encarga de buscar signos potenciales de fallas para que se pueda hacer un mantenimiento correctivo o antes el equipo deje de operar, hay dos etapas para el mantenimiento predictivo, "monitoreo de la condición" e " inspecciones " también conocidas colectivamente como "monitoreo basado en la condición", estos se utilizan para determinar la condición del equipo después del mantenimiento correctivo se realiza solo cuando esa condición se considera insatisfactoria.

Por lo general, el mantenimiento predictivo emplea parámetros físicos para detectar, analizar e identificar algún tipo de falla con equipos de alta tecnología, esto permite el monitoreo de temperatura, parámetros eléctricos, vibraciones, ultrasonido, ensayos térmicos, pruebas infrarrojas, análisis de refrigerantes (Campbell, y Reyes, 2016, p. 100).

1.3.10 Mantenimiento preventivo

Esta forma de mantenimiento es programado y ejecutado para reemplazar los componentes o restaurar de su estado actual a su estado original de diseño, este trabajo se realiza por fallas relacionadas con el paso del tiempo o el uso y se realiza antes de que se manifiesten los fallos en un activo, este tipo de trabajo es considerado trabajo planificado porque tiene un plan de trabajo rutinario preestablecido y tiempos estimados […] (Campbell, y Reyes, 2016, p.100)

Un programa de mantenimiento preventivo es crucial para el proceso de mantenimiento porque reduce la cantidad de mantenimiento reactivo a un nivel que permite otras prácticas en el proceso de mantenimiento para ser eficaz, […], las actividades efectivas de PM permite a una empresa lograr una proporción del 80% mantenimiento proactivo a 20% mantenimiento reactivo, una vez que las proporciones están en este nivel, otras prácticas en el proceso de mantenimiento se vuelven más efectivas (Wireman, 2015, p.100)

1.3.11 Mantenimiento correctivo

La acción del mantenimiento correctivo se realiza después del diagnóstico de fallas y son destinados a poner un activo averiado en un estado operativo para realizar su función normal a través de rectificación, reparación o sustitución de los elementos dañados.

Cuando un equipo reparable falla, existe la opción de repararlo o reemplazarlo por un elemento nuevo o recuperado, la decisión optima generalmente se basa en consideraciones de costo y el impacto de las acciones en futuras fallas del artículo involucrado, […] las acciones de CM pueden ir desde reparaciones muy menores o reemplazos que requieran un tiempo de parada con periodos muy pequeños, como ajustar ferretería o cambio de un perno en una máquina, o también se requiera una cantidad significativa de tiempo y recursos, el CM no es planificado y sucede sin previo aviso, el área o departamento de mantenimiento debe estar preparado para hacer frente a tales eventos y minimizar sus impactos negativos que podrían causar pérdidas económicas muy grandes en una compañía (Ben-Daya *et al*, 2016, p.83).

1.3.12 Mantenimiento centrado en la confiabilidad - RCM.

[…] El RCM proporciona un panorama efectivo estructurado para el desarrollo de un programa de mantenimiento, se enfoca en las necesidades del equipo y resultados finales sobre una base bien fundamentada para el mantenimiento de las instalaciones con una alta proporción de mantenimiento proactivo, RCM aborda las causas básicas de los equipos y fallas del sistema, su objetivo es asegurar que se implementen controles para predecir, prevenir o mitigar estas fallas funcionales y por ende el impacto económico (Deighton, 2016, p.130).

RCM es una estrategia de mantenimiento a nivel corporativo que se implementa para optimizar el programa de mantenimiento de una planta, el resultado final de un programa de RCM es el mantenimiento atreves de estrategias que deben ser implementadas en cada uno de los activos, las estrategias de mantenimiento están a la altura para establecer la confiabilidad y la planta tenga continuidad y eficiencia […], el RCM se basa en los siguientes principios que son críticos para

la implementación efectiva del programa de RCM, el objetivo principal es preservar la función del sistema e identificar modos de falla que pueden afectar la función del sistema y priorizar acciones para prevenir o controlar los modos de falla previamente identificados (Piechnicki, Loures y Santos, 2017, p.277)

RCM también se define desde un punto social como lenguaje común que toda persona que tenga inversiones tenga buena comunicación dentro de los asuntos del negocio, es un método para determinar el mantenimiento más apropiado para cualquier activo físico dado en su contexto operativo actual, el RCM no es un plan de mantenimiento y no es lo mismo como mantenimiento basado en condición (CBM), aunque esos son dos malas interpretaciones, el RCM no es más que un análisis profundo que se hace a una instalación donde se toma decisiones y seguimientos, este método se debe utilizar para capturar y documentar el conocimiento de las operaciones para las generaciones futuras […] finalmente el resultado sea sostenido en el tiempo donde el personal y la empresa tenga la confianza en la gestión, minimizando y eliminando las consecuencias de los fallos que puedan ocurrir (Campbell y Reyes,2016, p.267).

1.3.12.1 Beneficios del RMC

RCM es reconocida como una de las herramientas más poderosas que una empresa puede usar para obtener más valor de sus activos físicos, se considera la piedra angular por su alto éxito en programas de mantenimiento para asegurar que las máquinas entreguen lo máximo necesario a las operaciones, es un medio para optimizar el rendimiento la fiabilidad y la mantenibilidad y lograr mayor tiempo de actividad. RCM es un proceso que también es capaz de ofrecer muchos otros beneficios, como simplemente mejorar las prácticas de gestión de activos en una empresa maximizando la confiabilidad, no solo se observa el RCM como un proyecto, sino que adoptará un fundamento para obtener mayor beneficio de ella en el futuro, mejorado en general el conocimiento de la máquina, mejor motivación porque se conoce la maquina obteniendo mayor compromiso del trabajo, reducción de la carga de trabajo de PM, mejor diseño de la máquina, mayor seguridad, mayor conciencia ambiental y desempeño, menor consumo de repuestos y mejor trabajo en equipo (mantenimiento, producción, planificación y seguridad) son algunos de los beneficios para una empresa que aplique el RCM correctamente.

Además, no debe llevarse a cabo en todos los activos, sino sólo en aquellos Considerados críticos para la empresa, pero no se debe tener la impresión de que RCM puede hacer todo por su cuenta puede haber muchos otros aspectos de mantenimiento y los procesos de negocio que deben solucionarse incluso antes de que RCM puede ser aplicado a sus activos y ser plenamente exitoso (Sifonte, y Reyes, 2017, p.20).

1.3.12.2 Proceso del RCM

El proceso de RCM comienza con las siguientes siete preguntas básicas:

1. ¿Cuáles son las funciones y sus estándares asociados de desempeño del activo en su presente contexto operativo (operacional y funciones)?
2. ¿En qué formas puede dejar de cumplir sus funciones (funcional de fallas)?
3. ¿Qué causa son de cada falla funcional (modo de falla)?
4. ¿Qué sucede cuando se produce cada falla (efectos de falla)?
5. ¿De qué manera importa cada falla (consecuencias del fracaso)?
6. ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos)?
7. ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada (tratar de buscar cambios de una sola vez)? (Ben-Daya *et al*, 2016, p.408).

Brevemente se resolverá las 7 preguntas.

Respuesta 01

El primer paso del análisis RCM es definir la función de cada sistema elegido.

Respuesta 02

Un fallo funcional, ocurre cuando el sistema no puede cumplir su función, a un nivel de aceptación por el usuario, este tipo de falla no solo se refiere a la pérdida de una sola función, También es la pérdida de fallas parciales eso podría influir en la calidad de producción.

Respuesta 03

Cuando todas las fallas funcionales posibles hayan sido reconocidas, el análisis continuará, el siguiente paso es identificar todo tipo de causas razonables que hacen que ocurra una falla funcional bajo este paso se representan todos los tipos de fallas, tanto los que han sucedido, como las que podrían suceder, hay muchos tipos de modos de falla, a menudo desde desgaste y fatiga.

Respuesta 04

Los efectos de falla son el cuarto paso en el proceso RCM y describen lo que sucede cuando ocurre cada modo de falla, este paso está en estrecha relación con el siguiente y debe ser compatible con el analista para averiguar lo siguiente. En qué forma la falla es una amenaza para la seguridad o el medio ambiente, segundo, en qué forma la producción o las operaciones están en riesgo o ¿Qué daño físico es causado por la falla?

Respuesta 05

En una organización de mantenimiento, puede haber muchos de modos de falla y cada una de ella afecta a una organización también de muchas formas, pero en cada caso, el efecto es diferente. Pueden afectar la seguridad personal, Medio ambiente, calidad del producto, y capacidades de producción y operación, un efecto positivo con el método RCM es que el usuario se da cuenta de que la única razón para realizar una tarea de mantenimiento proactiva es reducir las consecuencias de la falla en lugar de evitar la ocurrencia de fallos (Devaraj y Kumar, 2016, p.02).

Respuesta 06

Después de finalizar el paso cinco en el proceso de RCM, es el momento para el paso seis y la selección de tareas, el método RCM usa una lógica árbol de decisiones, en forma de diagrama de flujo para cada paso del proceso, se debe responder una pregunta lógica, sí o no. Después de finalizar el proceso de selección, el método RCM dará algunas tareas de mantenimiento después de eso depende del analista comparará el resultado del proceso de selección de tareas RCM con el mantenimiento, falla e historia operacional a partir de ese análisis, surgirán algunas nuevas soluciones de tareas de mantenimiento proactivo (Devaraj y Kumar, 2016, p.02).

Respuesta 07

Este es el paso final en el proceso de RCM, si no se ha encontrado una tarea de mantenimiento proactiva, se debe realizar una acción predeterminada, el método RCM tiene tres categorías principales de acciones predeterminadas (Devaraj y Kumar, 2016, p.02).

- Las fallas no se encontraron
- Rediseño.
- No hay mantenimiento programado.

Todas las respuestas (Devaraj y Kumar, 2016, p.02)

1.3.12.3 Modos de fallo

Un modo de falla es un evento a través del cual se manifiesta una falla funcional, SAE JA1011 define un modo de falla como un evento único que causa una falla funcional, los modos de falla pueden ocurrir en el sistema, subsistema o nivel de artículo mantenible, pueden ser influenciados por factores externos que surjan, tanto dentro como fuera de los límites del activo bajo análisis. Uno de los aspectos más desafiantes de cualquier proceso de RCM es la identificación correcta de modos de falla para que puedan abordarse de forma proactiva, Es a menudo las causas de los modos de falla que son los objetivos de las decisiones RCM […] (Sifonte y Reyes, 2017, p.103).

1.3.12.4 Efectos de falla

Los efectos de falla cuantifican el "daño" que cada evento de falla particular puede causar en una planta o en una organización se recomienda describir "Qué sucede cuando se produce el modo de falla" […] (Sifonte y Reyes, 2017, p.29).

1.3.12.5 Tipos de modo de fallo

Estrés físico, eléctrico, químico y mecánico, ya sea solo o en combinación, inducir fallos en los activos físicos, la ISO 14224, sobre la colección y el intercambio de datos de confiabilidad, llama a estos procesos "mecanismos de falla". Comprender cómo se inician los modos de falla ayuda a más tarde identificar políticas adecuadas de gestión de fallos para reducir sus asociados riesgos a niveles tolerables, el RCM identifica los eventos a través de registros según el orden de fallas,

luego encuentra las causas raíz adecuadas para ellos, se clasifica los modos de falla por el tipo de mecanismo de falla […], la siguiente lista puede ser una herramienta útil para generar una lista completa (Sifontey Reyes, 2017, p.108).

Tabla 3. *Tipos de modo de falla*

Mecánico (MEC)	• Fugas: Externas e internas, ya sean líquidos o gases. • Vibración anormal • Falla de alineación. • Deformación: Distorsión, flexión, pandeo, abolladura. • Aflojamiento: Desconexión, elementos sueltos. • Adherencia: Convulsiones, atascos debido a razones distintas a la deformación.
Material (MAT)	• Cavitación: Relevante para equipos como bombas y válvulas. • Corrosión: Todo tipo de corrosión, tanto húmeda (electroquímica) y seco (químico). • Erosión: Desgaste erosivo. • Desgaste: Desgaste abrasivo y adhesivo, por ejemplo, rayado, desgaste. • Rotura: Fractura, rotura y agrietamiento. • Fatiga. • Sobrecalentamiento: Daño material debido al sobrecalentamiento / quemado.
Instrumentación (INS)	• Fallo de control: No hay regulación o regulación defectuosa. • Sin señal: Indicación / alarma: Sin señal / indicación / alarma. • Señal: Indicación / alarma defectuosa: la señal / indicación / alarma es incorrecta. • Fuera de ajuste: Error de calibración, desviación de parámetros. • Fallo del software: Defectuoso o sin control / monitoreo / operación debido al software. • Fallo de causa / modo común: Varios elementos del instrumento fallaron simultáneamente, por ejemplo, detectores de fuego y gas.
Eléctrico (ELE)	• Cortocircuito. • Circuito abierto: Desconexión, interrupción, cable roto. • Sin alimentación / voltaje: falta o falta de alimentación eléctrica. • Voltaje defectuoso: alimentación eléctrica defectuosa, por ejemplo, sobretensión. • Falla de tierra / aislamiento: falla de tierra, baja resistencia eléctrica.
Influencia externa (EXT)	• Bloqueo / taponamiento: flujo restringido / bloqueado debido a ensuciamiento, contaminación, formación de hielo, y así sucesivamente. • Contaminación: Fluido / gas / superficie contaminados, por ejemplo, aceite lubricante contaminado. • Influencias externas misceláneas: objetos extraños, impactos, Influencia ambiental de sistemas cercanos.

Varios (MIS)	• No se encontró ninguna causa: se investigó el modo de falla, pero no se reveló la causa o demasiado incierto. • Causas combinadas: varias causas: si hay una predominante causa, esto debe estar codificado. • Otro: No hay código aplicable: Use texto libre. • Desconocido: No hay información disponible.

Fuente: Sifonte y reyes, (2016).

1.3.12.6 Causas raíz de los modos de fallo y análisis

Tenga en cuenta que la información proporcionada por el modo de falla solo no puede ser lo suficientemente completo como para encontrar una política específica de gestión de fallos para afrontar las consecuencias del fallo funcional. Por lo tanto, […] cada falla debe analizarse profundamente para encontrar las posibles causas de su aparición, podemos encontrar que un solo modo de falla tiene múltiples causas raíz asociadas con eso, entonces, debemos evaluar individualmente cada causa, […]. El RCM proporciona los medios para procesar ese valioso conocimiento individual de manera organizada, como resultado se identificará las causas y esto nos dará un enfoque apropiado para mejores estrategias de gestión, estas estrategias incluyen el mantenimiento proactivo, tareas, cambios de una sola vez, e incluso dejar que la falla ocurra como siempre que las estrategias elegidas estén en consonancia con las finanzas, la seguridad y objetivos ambientales. Las principales causas están relacionadas al.

- Diseño
- Fabricación
- Mantenimiento
- Compras
- Operador sistema de calidad
- Datos
- Sabotaje o acción enemiga.

(Ren *et al*, 2017, p.27)

1.3.12.7 Curva de la bañera

La curva de la bañera, tan citada, es un ejemplo de la práctica de tratar más de una falla, tipo (modo) por una sola clasificación, busca describir la variación de la tasa de falla de los componentes durante su vida La figura 04 muestra esta relación generalizada como se asumió originalmente […] existen 03 fases la primera es llamada fallos tempranos o fallos de mortalidad infantil, la parte media se conoce como la vida útil y se supone que las fallas exhiben una tasa de falla constante, es decir, que ocurren al azar y la última parte de la curva describe los fallos de desgaste y se supone que la tasa de fracaso aumenta a medida que los mecanismos de desgaste se aceleran. La figura 05, muestra algo más realista ya que muestra que la curva de la bañera está

la suma de tres distribuciones de fallas superpuestas separadas. Etiquetando secciones de la curva como wearout, burn-in y random ahora se puede ver en una luz diferente (Smith, 2017, p22).

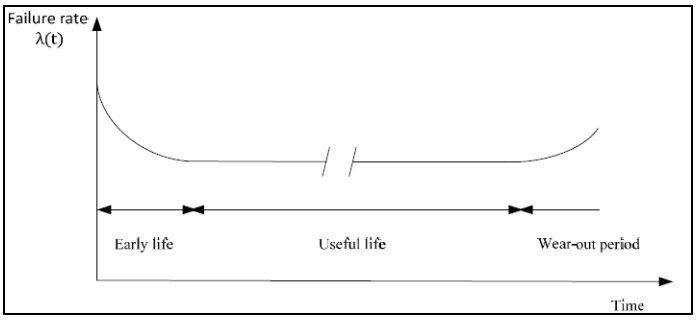


Figura 2: Curva de la bañera

Fuente: Leroy (2018)

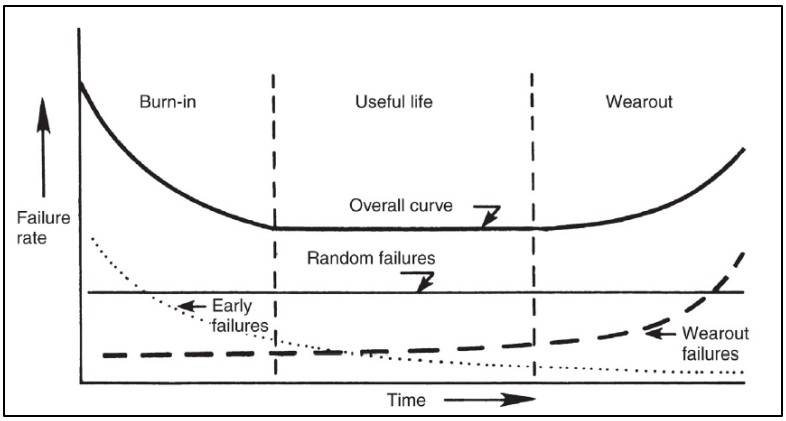


Figura 3: Curva de la bañera con 03 etapas

Fuente: Smith (2017)

Tabla 4. *Etapas de la curva de la bañera*

RATIO DE FALLA		CONCEPTO	Costos de mantenimiento (%)
1-	Disminución de la tasa de fallo	Fallas tempranas	Generalmente relacionado con la fabricación y el control de calidad, por ej. Soldaduras uniones, conexiones, envolturas, suciedad, impurezas, grietas, Fallos de aislamiento o revestimiento, ajuste incorrecto o posicionamiento en otras palabras, las poblaciones de calidad inferior. Artículos por defectos microscópicos.
2-	Tasa de fallos constantes	Fallas durante la vida útil	Generalmente se asume que son fallas relacionadas con el estrés, es decir, fluctuaciones aleatorias (transitorias) de tensiones superiores. La resistencia de los componentes
3-	Aumento de la tasa de fallo	Fallas de desgaste	Debido a la corrosión, oxidación, ruptura del aislamiento, Migración atómica, desgaste por fricción, contracción, fatiga, etc.

Fuente: Smith (2017)

1.3.12.8 Distribución de Weibull

Para Sifonte y Reyes (2017, p.41) La principal ventaja del análisis de Weibull es la capacidad de proporcionar razonablemente análisis precisos y previsiones de fallos con muestras extremadamente pequeñas, los dos parámetros que definen la línea de Weibull son el parámetro de forma, beta (β), y la vida característica, eta (η), Beta está relacionada con la física de la falla, y eta es el tiempo típico de falla en el análisis de Weibull.

La distribución Weibull de dos parámetros es la más utilizada, distribución para el análisis de datos de vida. La distribución acumulativa de Weibull. la función (CDF) proporciona la probabilidad de falla, F (t), hasta el tiempo (t):

Ecuación: 1

$$F(t) = 1 - e^{\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$$

Ecuación: 2

Dónde.

F(t)	Probabilidad de fallo hasta el momento (t)
R(t):	Confiabilidad, es decir, la probabilidad de que la falla no ocurra hasta tiempo (t)
e:	Base de logaritmos neperianos (e=2.303)

Definición del parámetro β se puede interpretar de la siguiente manera:

β <1: Se experimentan fallas prematuras y la reparación en caso de falla es recomendado. Además, es recomendable verificar la calidad de las reparaciones, o puede ser necesario un diseño mejorado los reemplazos preventivos serán aumentar el número de fallos.

β = aproximadamente 1: Se producen fallas aleatorias con probabilidad constante si las fallas son frecuentes, el diseño debe ser mejorado reemplazos regulares no se recomiendan, ya que no hacen nada para reducir la probabilidad del fracaso, monitoreo para predecir el inicio del fracaso puede ser apropiado si es rentable.

β = 1 a 3: fallas de tipo desgaste que muestran alguna falla aleatoria características el reemplazo de tiempo fijo no suele recomendarse el monitoreo es apropiado, y algún mantenimiento en caso de fallas puede ser necesario si es rentable.

β> 3: Desgaste. El reemplazo de tiempo fijo puede ser efectivo dependiendo de
El costo del PM en comparación con el de la falla.

Basado en el análisis de Weibull, algunos componentes deben ser descartados o reemplazado después de un cierto tiempo de funcionamiento especificado, cuando ese es el caso, óptimo, se

puede calcular el tiempo de reemplazo, se deben cumplir dos requisitos para que el reemplazo preventivo de un componente sea apropiado.

El primero es el PM tiene sentido cuando la condición del componente empeora con el tiempo para entender mejor se dice que a medida que el componente envejece se vuelve más susceptible al fracaso o está sujeto a desgaste, en términos de fiabilidad, esto significa que el componente tiene una tasa de fracaso creciente, lo segundo es cuando el costo del reemplazo preventivo debe ser menor que el costo de CM cuando falla ocurre, si se cumplen estos dos requisitos, entonces PM es apropiado, y un tiempo óptimo (incurriendo en el costo mínimo) en el cual el preventivo el reemplazo debe tener lugar puede ser calculado (Sifonte y Reyes, 2017, p.42).

1.3.12.9 Mantenimiento basado en condición

Las fallas de los equipos son análogas, pero muchas suceden sin que el ojo humano lo pueda observar, que no se sabe cuándo fallaran sin importar si los equipos son nuevos o ya tienen un largo trabajo, cuando el elemento de una maquina empieza a fallar este se propaga exponencialmente hasta llegar al evento final que es la parada inesperada, el RCM atreves del CBM nos dará múltiples alertas por que se basa en diferentes métodos que nos ayudaran a analizar las causas raíz, seguidamente tratamos los principales.

- **Análisis de vibración**

  La teoría de la vibración se ocupa del movimiento oscilatorio de los sistemas físicos, el movimiento puede ser armónico, periódico o un movimiento general en el que la amplitud varía con el tiempo […], la Vibración que experimenta una máquina desde su reposo hasta que se pone en operación son fuerzas aplicadas que reaccionan internamente hacia la bancada, un análisis de vibración basadas en el monitores nos ayudaran a determinar si la vibración de la maquinaria es normal o no incluso puede detectar muchas fallas lo suficientemente temprano para planificar reparaciones en un momento conveniente antes que se produzca una falla[…], el nivel de vibración está significativamente influenciado por la cantidad de energía disipada como resultado de la fricción seca entre superficies, amortiguamiento viscoso o amortiguación estructural del material, la fricción seca entre superficies también se llama amortiguación de Coulomb en muchas aplicaciones la energía se disipa como resultado de la amortiguación (Shabana, 2019, p.04).

- **Análisis de termografía**

  […] IRT (termografía infrarroja) es una disciplina que se basa en principios físicos, incluye un dispositivo de detección IR para sentir la energía térmica que se irradia desde los objetos en la banda IR, esta energía con la ayuda de un software específico y relaciones básicas se transforma en una señal de video, finalmente forma un mapa de temperatura, este es un procedimiento bastante complejo que involucra Muchas otras disciplinas como el

electromagnetismo, la electrónica tratamientos de señal, transferencia de calor; el IRT se está utilizando en un gran número de campos de aplicación y para muchos diferentes propósitos […], debe ser considerado como un valioso aliado para consultar, diagnosticar y prevenir potenciales fallos de los activos (Meola, Boccardi y Carlomagno, 2017, p.57).

- **Análisis de aceite**

Muchas de las causas principales del fracaso se eliminan sistemáticamente monitoreando y controlando cuidadosamente las condiciones del aceite […], algunas personas ven el análisis del aceite como una herramienta de ayuda, otros lo ven en términos de capacidad para detección de fallas, […].De hecho, cuando un programa está bien diseñado e implementado el análisis del aceite puede hacer todas estas cosas y más, la clave es definir cuáles serán los objetivos y diseñar un programa que efectivamente los atenderá, el objetivo es utilizar el conocimiento para diseñar un programa que efectivamente cumpla con los objetivos luego ejecutarlo e ir afinando atreves de la mejora continua (Bloch, y Bannister, 2016, p.469).

- **Análisis con ultrasonido**

El sonido es una vibración que se propaga a través de un medio por deformación elástica de sus partículas, cuando la vibración se produce en frecuencias superiores a la humana límite audible de 104 Hz, se le conoce como ultrasonido […]. Desde principios del siglo XX han encontrado uso también en industria originalmente para el examen y evaluación no destructiva […], desde entonces, el ultrasonido se ha utilizado en una amplia gama de aplicaciones como el monitoreo de condición tales como el examen no destructivo de estructuras, aplicaciones médicas, Análisis químico de fluidos, y sismología (Schirru, 2017, P.37).

1.3.12.10 Riesgo y mantenimiento

Una buena estrategia de mantenimiento no solo debería aumentar la rentabilidad de las operaciones sino también minimizar los peligros y las consecuencias resultantes para los seres humanos y el medio ambiente, resultante de fallos inesperados de los objetos de ingeniería (Ben-Daya *et al*, 2016, p.410).

1.3.12.11 Mantenimiento basado en el riesgo (RBM)

Este método consiste es asignar los recursos de mantenimiento de manera inteligente enfocando a los equipos más críticos, las dos etapas principales son; Evaluación de riesgos y planificación de mantenimiento, la evaluación es la fase principal del mantenimiento basado en el riesgo el riesgo se define como la probabilidad de que ocurra la falla, la evaluación de los riesgos no implica nada más que identificar las amenazas potenciales que pueden ocurrir en los sistemas existentes, Este paso consiste principalmente en la estimación del riesgo y la evaluación del

riesgo esto se lleva a cabo utilizando el método RPN (Número de Riesgo Prioritarios), en la segunda fase se despliega la planificación del mantenimiento incluyendo la programación de un plan de mantenimiento (Kiran, Kumar, Prajeeth y Muralidharan, 2016,p.579).

1.3.13 Mantenimiento productivo total

El (TPM) se define como un enfoque innovador para el mantenimiento que mejora la efectividad del equipo, soporta el mantenimiento autónomo por parte de los operarios a través de las actividades diarias incluidas en las rutinas de trabajo eliminando las averías en el proceso, TPM es un programa de gestión de mantenimiento con el objetivo de reducir el tiempo de inactividad del equipo y mejorar la efectividad general del equipo, sin embargo TPM no es una política específica de mantenimiento si no es una cultura, una filosofía y una nueva actitud para el mantenimiento la adopción efectiva e implementación del TPM en las organizaciones manufacturas es un enfoque estratégico para mejorar el desempeño de las actividades de mantenimiento, el TPM enfoca el mantenimiento como una parte crucial y muy importante del negocio buscando involucrar a todos los niveles y funciones de la empresa para maximizar al máximo la eficiencia de los equipos de producción (Zuo *et al*, 2016, p.15).

1.3.13.1 Pilares del TPM

TPM es conocido por tener pilares dentro de una casa y constan de los siguientes

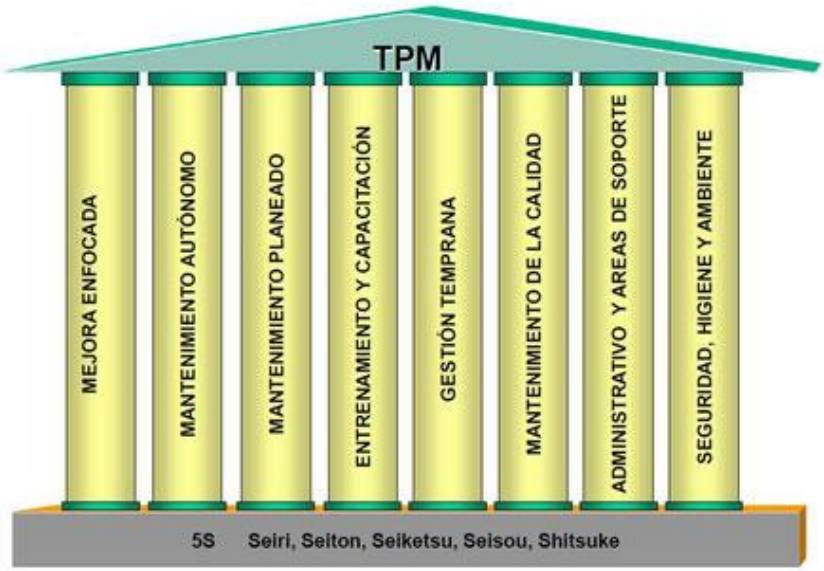


Figura 4: *Pilares del TPM*

Fuente: https://www.sysom.com.mx/asesorias-tpm/

1.3.14 Indicadores de mantenimiento

Los indicadores son esenciales para cualquier sistema de gestión, denominados muchas veces en sus siglas en ingles KPI, estos son valores numéricos que representan el progreso y la situación de una organización ya que revelan el rendimiento de estado de las operaciones, su uso correcto de los indicadores puede conllevar al mejoramiento y al éxito de una planta o institución.

1.3.14.1 Confiabilidad

La definición de "confiabilidad" generalmente aceptada por la comunidad de ingenieros […] es la capacidad de un sistema para funcionar según lo diseñado, sin falla, en un entorno operativo, por un período de tiempo determinado, más brevemente se dice que la confiabilidad es la capacidad de un sistema para operar correctamente bajo condiciones especificadas por un período de tiempo predeterminado (Tortorella, 2015, P28).

La confiabilidad depende de su formulación matemática, es expresada por la siguiente ecuación, que representa una distribución exponencial (tasa de falla constante).

$$C(t) = e^{\frac{-\lambda t}{100}} * 100\% \qquad \text{Ecuación: 3}$$

Dónde.

C(t): Confiabilidad para un tiempo dado (%)
e: Base de logaritmos neperianos (e=2.303)
λ: Tasa de fallas ($TMEF^{-1}$)
t: Tiempo de operación previsto

1.3.14.2 Disponibilidad

La disponibilidad se define como la probabilidad a largo plazo de que el sistema esté disponible para utilizar en cualquier momento, esto se expresa como una estimación puntual y se calcula a partir de las estimaciones de punto medio de retardo y fiabilidad, hay varias formas de disponibilidad de estado estable dependiendo de la definición de tiempo de actividad y falta del tiempo la disponibilidad inherente es la definición más común en la literatura (Kumar et al, 2016, p.17)

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\% \qquad \text{Ecuación: 4}$$

Dónde.

D(t): Disponibilidad (%)
TMEF: Tiempo medio entre fallas (Hrs)
TMPR: Tiempo medio para reparar (Hrs)

1.3.14.3 Mantenibilidad

La probabilidad de que un artículo fallado se restaure a la efectividad operacional dentro de un período de tiempo dado cuando la acción de reparación se realiza de acuerdo con procedimientos prescritos. Esto, a su vez, se puede parafrasear como "la probabilidad de reparación en un dado el tiempo "y se expresa a menudo como un" tiempo de disminución percentil (Smith, 2017, p.16)

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-\mu t}{100}}\right) * 100\%$$ Ecuación: 5

Dónde.

M(t)	Mantenibilidad para un tiempo dado (%)
e:	Base de logaritmos neperianos (e=2.303)
λ:	Tasa de reparaciones (# de reparaciones en relación al total horas de reparación)
t:	Tiempo de reparación previsto
μ:	Tasa de reparaciones ($TMPR^{-1}$)

1.3.14.4 Tasa de fallas

Es la frecuencia de fallas de un activo o sistema, ésta tiene relación con el tiempo puede ser representada en porcentaje lo cual permitirá revelar la causa de los eventos o fallos que ocurran.

$$\lambda = \frac{1}{TMEF}$$ Ecuación: 6

Dónde.

λ:	Tasa de fallas.
F:	Tiempo medio entre fallas.

1.3.14.5 Tasa de reparaciones

La tasa de reparaciones (μ) se mide las reparaciones por unidad de tiempo.

Matemáticamente podemos definir la tasa de falla como.

$$\mu = \frac{1}{TMPR}$$ Ecuación: 7

Dónde.

μ:	Tasa de reparaciones.
TMPR:	Tiempo medio de reparación.

1.3.14.6 Tiempo de reparación y tiempo entre fallas

Se define como el tiempo medio real utilizado en la corrección de la falla y en la restauración de la función de un equipo, línea, maquinaria o proceso después de una falla funcional.

$$TPR_i = \sum_{i=1}^{n} TPR_I \qquad \text{Ecuación: 8}$$

$$TEF_i = T_{p_i}^{i=1} - TPR_i \qquad \text{Ecuación: 9}$$

Dónde.

TPR: Tiempo para reparar.

TEF: Tiempo entre fallas.

Tp: Tiempo programado.

1.3.14.7 Tiempo medio para reparar

Es el tiempo promedio necesario para restaurar un activo por completo y ponerlo en operación después de una falla, con la siguiente operación matemática se demuestra.

$$\text{MTTR} = \frac{\sum_{i=1}^{n} TPR}{n} \qquad \text{Ecuación: 10}$$

Dónde.

MTTR: Tiempo Medio para reparar (Hrs).

TPR: Tiempo para reparar (Hrs).

n: Número total de intervenciones.

1.3.14.8 Tiempo medio entre fallas

Es aquel tiempo que transcurre desde una falla a otra que se da en un equipo reparable o mantenible, esta tasa de fallas son indicadores para calcular la confiabilidad de cualquier activo o sistema.

$$\text{MTBF} = \frac{\sum_{i=1}^{n} TEF}{n} \qquad \text{Ecuación: 11}$$

Dónde.

MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas (Hrs).

TEF: Tiempo total de operación en el periodo (Hrs).

n: Número total de intervenciones.

1.4 Formulación del problema

¿Cómo la aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) podría incrementar la disponibilidad en la línea de producción de la planta industrial LADRILLOS LARK- Lambayeque?

1.5 Justificación del estudio

Para la justificación de la presente investigación se ha enfocado cuatro referencias relevantes, las cuales se detallan a continuación.

1.5.1 Justificación tecnológica

La presente investigación dará a la empresa un mejor status tecnológico porque el mantenimiento se hará atreves de aplicativos tecnológicos (CMMS) esto ayudará que la gestión y procedimientos se automaticen logrando reducir las fallas críticas y aumentando la confiabilidad, usando como base la innovación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

1.5.2 Justificación económica

Esta investigación ayudara a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, lo cual permitirá la reducción de los costos de mantenimiento, consecuentemente mejorará la rentabilidad, calidad y competitividad de la empresa, porque se tendrá mejor eficiencia de producción debido a que los mantenimientos que se realizaran no interrumpirán el proceso productivo porque todo estará planificado y controlado.

1.5.3 Justificación social

La investigación impulsara el desarrollo de nuevas culturas dentro de la organización dándole más valor al personal que labora en la empresa porque se capacitará al personal y se les dará más confianza, esto hará que todos desarrollen diferentes habilidades y técnicas con esto siempre trabajaran con la moral en alto y estén cada día encantados de su trabajo, también se reducirá el estrés laboral en toda la organización y en todos los niveles jerárquicos porque se tendrá la convicción de que todos desempeñaran sus labores de forma correcta y segura, disminuyendo la fatiga y dando más tranquilidad en todo el entorno social.

1.5.4 Justificación ambiental

Este proyecto de investigación ayudara a reducir los impactos ambientales producidos por los mismo trabajos que se vienen realizando sin control en talleres y planta de proceso, implantando nuevas formas y métodos de trabajos, los equipos y máquinas serán reparados con mejores técnicas , las grasas y aceites ya no serán derramados , los operadores de planta usaran más eficientemente los equipos consumiendo adecuadamente la energía y las materias primas, cultivando el reciclaje en todas las áreas también ayudará a minimizar los potenciales impactos negativos.

1.6 Hipótesis

La propuesta de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), incrementará la disponibilidad la línea de producción de la planta industrial LADRILLOS LARK – Lambayeque.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Realizar la propuesta de mantenimiento basado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad en línea de producción de la planta industrial Ladrillos Lark-Lambayeque.

1.7.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual del mantenimiento y la disponibilidad de los equipos.
2. Evaluar la criticidad de los sistemas y equipos
3. Diseñar una propuesta de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)
4. Realizar la evaluación económica para la propuesta en la empresa.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de la investigación

Este tipo de investigación se caracteriza por el nulo o poco control de variables extrañas durante la realización del experimento. (BERNAL, 2006)

La presente tiene un nivel de tipo descriptivo y explicativo, se dice descriptiva porque busca describir las características, causas con sus consecuencias y es explicativa porque trata de responder o explicar las causas de la problemática actual.

Pre - experimental porque existe un control mínimo de la variable independiente, se trabaja con un solo grupo (G) al cual se le aplica un estímulo (RCM, mantenimiento centrado en la confiabilidad) para determinar su efecto en la variable dependiente (Incremento de la disponibilidad de equipos).

G: O1 ----------X ---------- O2

Dónde:

G: Equipos de línea de producción de la empresa inversiones Mocce.

O1: Incremento de disponibilidad

X: Mantenimiento basado en la confiabilidad.

O2: Disponibilidad de equipos después de aplicar un programa de mantenimiento basado en la confiabilidad.

2.2 Variables, operacionalización

- **Variable independiente.**

  Mantenimiento Basado en la Confiabilidad

- **Variable dependiente**

  Incrementar la disponibilidad en la línea de producción de ladrillos.

Operacionalización

variable		Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos
Independiente	Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM)	Para Ren *et al* (2017) "El RCM lo define Moubray, como un proceso para determinar qué se debe hacer para garantizar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga dentro de su contexto operacional actual" (p.16).	El RCM posee una serie de estrategias que, fundadas correctamente ayudan a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de cualquier activo o instalaciones.	Control de activos Control de documentación Ordenes de trabajos	La Razón	Fichas de recolección de datos
Dependiente	Incrementar la disponibilidad de los equipos en la línea de producción de ladrillos.	La confiabilidad es "la probabilidad que el equipo realizará su función prevista dentro de condiciones establecidas […] y la disponibilidad es el porcentaje de tiempo que el equipo estuvo, o la probabilidad de que el equipo esté, en condiciones de realizar su función prevista durante un período específico" (Peng, 2012, P.14)	La disponibilidad es el cociente entre el tiempo medio entre fallas y la suma del tiempo medio para reparar y el tiempo medio entre paradas.	Confiabilidad $C(t) = e^{\frac{-\lambda t}{100}} * 100\%$ Disponibilidad $D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$	La razón	Fichas de recolección de datos

2.3 Población y muestra

- **Población**

La empresa INVERSIONES MOCCE S.A ladrillos LARK contempla con equipos y maquinaria que se usa para el proceso de fabricación de ladrillos de la cual serán la población.

- **Muestra**

Las muestras serán la maquinaria previamente seleccionada de acuerdo a los criterios de criticidad y esté involucrada en la elaboración de ladrillos de la empresa INVERSIONES MOCCE S.A.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Tabla 5, *Técnicas e instrumentos.*

TÈCNICA	USO	INSTRUMENTO
Observación directa	Toma de datos técnicos y registro de paradas de máquina.	-Fichas de datos técnicos de las máquinas. -Ficha de evaluación de operatividad actual. -Fichas de registro de paradas de máquinas.
Entrevista	-Evaluar al personal administrativo y técnico sobre cómo se desarrolla el mantenimiento. -Medir la capacidad técnica de operadores y técnicos.	-Guía de Entrevistas para administrativos. - Guía entrevista para técnicos
Análisis documental	Revisión de manuales técnicos.	-Ficha de revisión documentaria

Fuente: Propia

2.4.1 Técnicas

Las técnicas son los diferentes medios empleados para recolectar información, las cuales se destacan en este proyecto las siguientes.

Observación directa; Son técnicas que nos permiten observar los datos recolectados por los instrumentos.

Entrevista; Con esta técnica se evaluará al personal administrativo y técnico.

Análisis documental; Esta técnica permitirá analizar para revisión de manuales técnicos de cada máquina.

2.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos son los medios físicos que se empleara para recopilar y guardar la información, en esta investigación se usaran los siguientes instrumentos.

1. Fichas de datos técnicos; con estas fichas se recopilará datos técnicos de todos las máquinas y equipos que hay en planta
2. Fichas de evaluación de operatividad actual; se usarán para para observar el estado de operatividad actual de las máquinas.
3. Fichas de registro de paradas de máquinas; estas fichas servirán para registro de las paradas imprevistas de las maquinas durante el proceso.
4. Guías de entrevistas; se usarán para entrevistar al personal administrativo y operario donde se recolectará información sobre cómo se está desarrollando el mantenimiento.
5. Fichas de revisión documentaria; con estas fichas se analizará la documentación que hay sobre manuales y fichas técnicas ya sean de mantenimiento o servicio.

2.4.3 Validez y confiabilidad

Para que los instrumentos tengan validez y confiabilidad tendrán que ser visados por Juicio de expertos, integrados por profesionales que tengan la especialidad en el tema quienes le otorgarán la validez y confiabilidad.

2.5 Métodos de análisis de datos

Después de obtener los datos, el siguiente paso es realizar el análisis de los mismos se usará diferentes métodos donde nos permitirá conocer si las respuestas corresponden a la hipótesis en estudio, se trabajará con distribución de frecuencias, tendencias, asimetría y el análisis multivariado, como método matemático permite analizar la concepción de las variables.

2.6 Aspectos éticos

- **Confidencialidad**

Se podrá disponer de la información confidencial de los datos , asimismo se indicara las fuentes como guías de los investigadores del tema para dar una veracidad y discusión de los contenidos, además la veracidad de las entrevistas y el respeto a las respuestas de las personas que seran encuestadas, se dará fe que todos los datos recopilados para este proyecto serán reales. (Norma ética colegio de ingenieros).

III. RESULTADOS

3.1 Determinar la situación actual del mantenimiento y la disponibilidad.

3.1.1 Descripción general de la empresa y estado actual del mantenimiento

Inversiones Mocce S.A es una empresa dedicada a la fabricación de ladrillos cerámicos en sus diferentes formatos tipo muro y tipo techo que están regulados por la NTP 331.017 1978 para cumplir con los estándares de calidad, su representación comercial hasta la actualidad es LADRILLOS LARK, económicamente es una empresa sólida que va de la mano con la tecnología para tener mejor calidad de sus productos logrando ser una de las mejores empresas más sólidas y modernas del país.

Esta planta está ubicada en Lambayeque en Car- Panamericana Norte Km799 Z.I Fundo San Antonio Sector Mocce Lambayeque, en fig.8 se muestra la ubicación geográfica y en l fig. 9 se observa cómo es internamente.

Figura 5: Ubicación de planta

Fuente: Google maps (2019)

Figura 6: Vista interior de planta

Fuente: Inversiones Mocce ladrillos LARK (2019)

3.1.1.1 Área e infraestructura de mantenimiento

El área de mantenimiento consta de un área de 600m2 que está distribuido en la siguiente manera.

Tabla 6. *Distribución del área de mantenimiento*

1	Oficina de jefatura de mantenimiento
2	Oficina de almacén
3	Almacén de suministros
4	Almacén de aceites
5	Taller eléctrico
6	Taller soldadura
7	Taller automotriz
8	Taller de maestranza
9	Patio de maniobras
10	Almacén de ferretería pesada
11	Depósito de equipos

Fuente: Propia (2019)

En la fig. 07 podemos observar la distribución del área de mantenimiento según la descripción de la tabla 8.

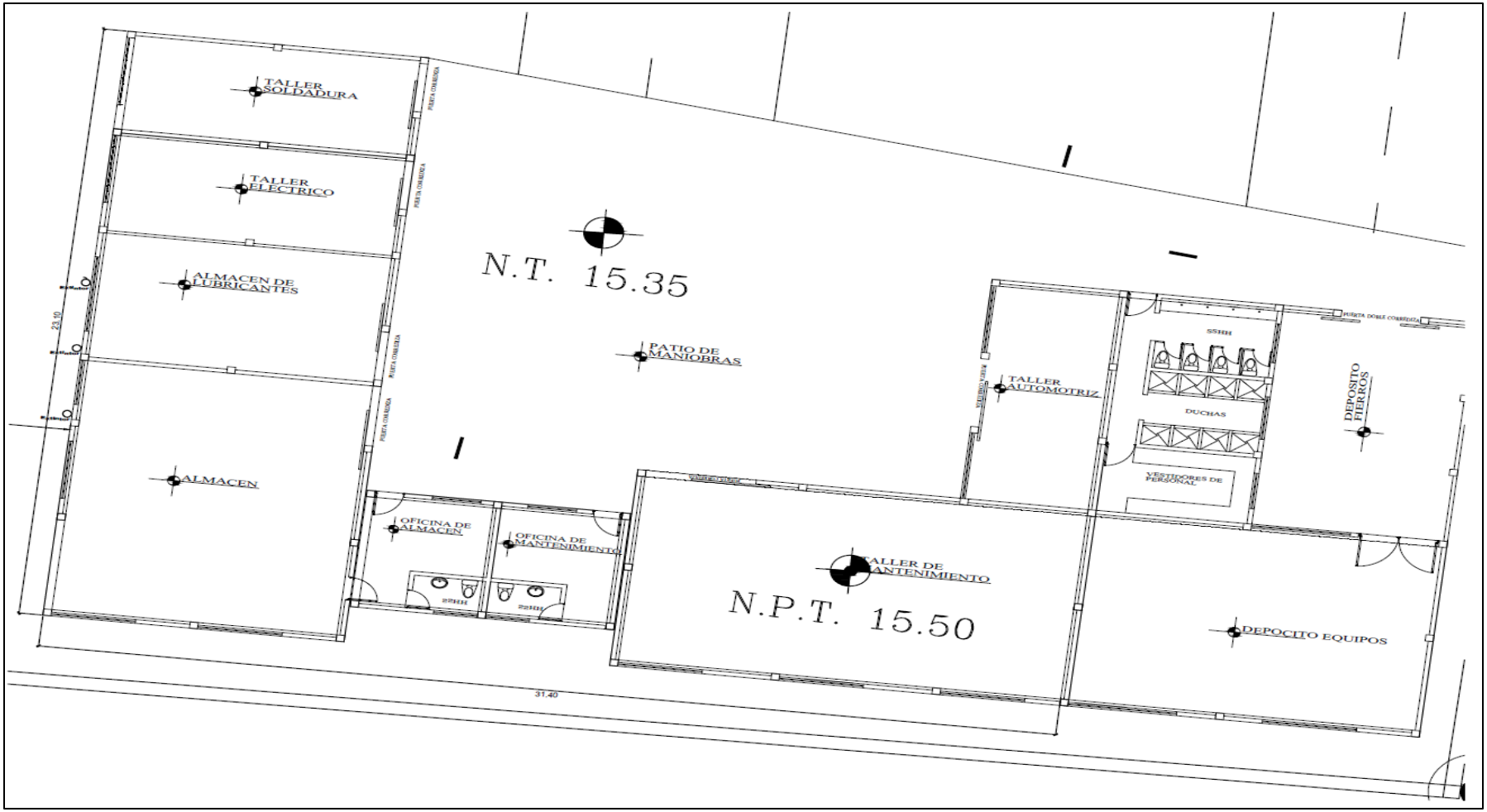


Figura 7: Descripción del área de mantenimiento

Fuente: Inversiones Mocce ladrillos LARK (2019)

3.1.1.2 Organigrama de mantenimiento

La empresa Inversiones Mocce S.A Ladrillos Lark cuenta con un modelo organización con la producción como centro porque todo el organigrama de mantenimiento esta jerarquizado por la gerencia de producción según la información proporcionada por la empresa.

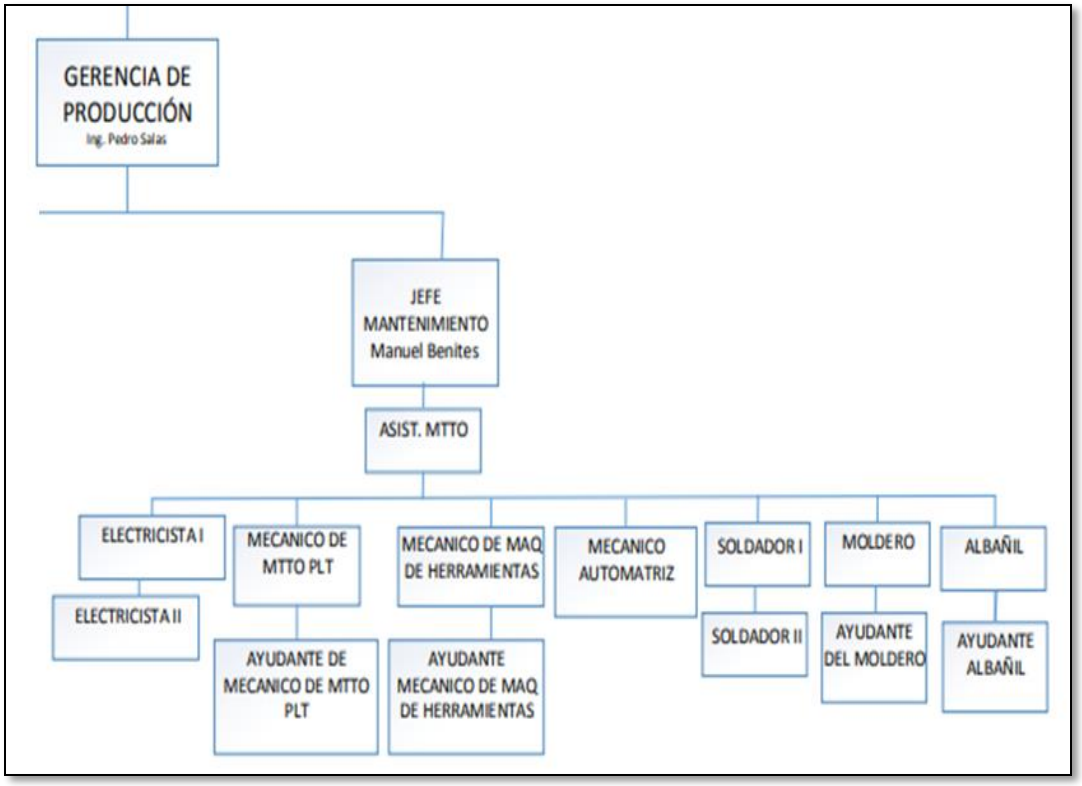


Figura 8: Organigrama de mantenimiento

Fuente: Inversiones Mocce ladrillos LARK (2019)

El área de mantenimiento es dirigida por un jefe de mantenimiento, quien posee una amplia experiencia, en el área de procesos de fabricación de ladrillos cerámicos, además es el encargado de la programación de los mantenimientos y puesta en marcha de que todos los equipos nuevos que se instalan en planta, también realizan las sugerencias sobre otros aspectos de mejora de la planta y del mantenimiento.

3.1.1.3 Diagnóstico del estado actual del mantenimiento

El método de diagnóstico del estado actual del mantenimiento se basa en el uso de una secuencia de cuestionarios (entrevistas) y la evaluación de las respuestas, este método de diagnóstico fue diseñado para ser una herramienta práctica para el uso directo por parte de los responsables de cada área y también brindar medidas sistemáticas para mejorarlos.

Tabla 7. *Personal administrativo entrevistado.*

Ítem	Descripción
1	Jefe de mantenimiento
2	Asistente de producción
3	Jefe de turno (producción)

Fuente: Propia (2019)

Tabla 8. *Personal técnico de mantenimiento entrevistado y encuestado.*

Ítem	Descripción
1	Jefe de mantenimiento
2	Asistente de producción
3	Mecánico de mantenimiento
4	Ayudante mecánico de mantenimiento
5	Mecánico de máquinas herramientas
6	Ayudante mecánico de máquinas herramientas
7	Mecánico automotriz
8	Electricista II
9	Electricista I
10	Soldador I
11	Soldador II

Fuente: Propia (2019)

También se realizó entrevistas de conocimientos para determinar el grado técnico que tienen los operadores de planta.

Tabla 9. *Personal operario encuestado.*

Ítem	Descripción
1	Operador de Molienda (2)
2	Operador de formado (2)
3	Operador de automatismo de carga (1)
4	Operador de secadero (2)
5	Operador de automatismo descarga (3)
6	Operador de robot (3)
7	Operador de horno (2)
8	Operador de montacargas (1)

Fuente: Propia (2019)

A continuación, se observa los resultados de las entrevistas y encuestas realizada al personal de mantenimiento y operarios, sobre cómo se está administrando el mantenimiento actualmente en la empresa.

Tabla 10. *Resultados de la entrevista personal administrativo.*

ENTREVISTA AL PERSONAL ADMINISTRATIVO MANTENIMIENTO - PRODUCCIÓN

	Deficiente (1), Regular (2), Excelente (3)				PUNTAJE TOTAL		
	CUESTIONARIO	**D**	**R**	**E**	**D**	**R**	**E**
1	¿Actualmente la empresa dispone de financiamiento adecuado para cumplir con los objetivos del área de mantenimiento?	0	2	6	0.00%	33.33%	66.67%
2	¿Califique la gestión y planeación de mantenimiento que se tiene actualmente?	1	4	0	33.33%	66.67%	0.00%
3	¿Aplica el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM)	3	0	0	100.00%	0.00%	0.00%
4	¿Aplica el mantenimiento productivo total (TPM)	2	2	0	66.67%	33.33%	0.00%
5	¿Qué tan eficiente es la organización de mantenimiento dentro de la empresa?	1	4	0	33.33%	66.67%	0.00%
6	¿Se capacita al personal de mantenimiento en sus diferentes especialidades?	3	0	0	100.00%	0.00%	0.00%
7	¿Todo el personal de mantenimiento posee conocimientos y capacidades necesarios para un buen desempeño?	0	6	0	0.00%	100.00%	0.00%
8	¿Se aplica alguna técnica para el análisis de modos de fallas (AMEF)	3	0	0	100.00%	0.00%	0.00%
9	¿Se dispone de inventarios actualizados de máquinas, equipos y herramientas?	1	4	0	33.33%	66.67%	0.00%
10	¿Existe recursos físicos y tecnológicos suficientes para realizar correctamente las actividades de mantenimiento?	0	6	0	0.00%	100.00%	0.00%
11	¿Se tiene registros o historiales con control documentario de los mantenimientos realizados?	0	6	0	0.00%	100.00%	0.00%
12	¿Se planifica las paradas de máquinas por mantenimientos preventivos?	0	2	6	0.00%	33.33%	66.67%
13	¿Se cultivan las culturas de las 5s y el cuidado del medio ambiente?	2	2	0	66.67%	33.33%	0.00%
	TOTAL	**14**			41.03%		
	TOTAL		**42**			48.72%	
	TOTAL			**12**			10.26%

Fuente: Propia (2019)

Tabla 11. *Resultados de la entrevista a personal técnico de mantenimiento*

ENTREVISTA AL PERSONAL TÉCNICO DE MANTENIMIENTO

	Deficiente (1), Regular (2), Excelente (3)				PUNTAJE TOTAL		
	CUESTIONARIO	**D**	**R**	**E**	**D**	**R**	**E**
1	¿Cómo observa el proceso de mantenimiento que se desarrolla actualmente?	0	18	0	0.00%	100.00%	0.00%
2	¿Sabe usted que es una orden de trabajo?	3	8	6	33.33%	44.44%	22.22%
3	¿Los trabajos que realiza son planificado previamente a través de ordenes de trabajo?	9	0	0	100.00%	0.00%	0.00%
4	¿Reporta sus actividades realizadas al final del turno laboral?	5	8	0	55.56%	44.44%	0.00%
5	¿Tiene acceso a manuales y datos técnicos de los equipos y máquinas?	4	10	0	44.44%	55.56%	0.00%
6	¿Se planifica las paradas de máquinas para realizar los mantenimientos?	0	12	9	0.00%	66.67%	33.33%
7	¿Conoce las frecuencias de mantenimiento de los equipos de planta?	3	8	6	33.33%	44.44%	22.22%
8	¿El espacio físico donde realiza las actividades cree que está bien distribuida?	3	12	0	33.33%	66.67%	0.00%
9	¿Cuentan con suficientes herramientas y equipos para el desarrollo de sus actividades?	1	16	0	11.11%	88.89%	0.00%
10	¿Tiene procedimientos de trabajos para cada máquina?	5	8	0	55.56%	44.44%	0.00%
11	¿Se tiene stock de repuestos disponibles en almacén cuando solicitan?	0	18	0	0.00%	100.00%	0.00%
12	¿Se tiene procedimientos para el manejo de residuos (sólidos y líquidos)	9	0	0	100.00%	0.00%	0.00%
	TOTAL	**40**			**38.89%**		
	TOTAL		**116**			**54.63%**	
	TOTAL			**30**			**6.48%**

Fuente: Propia (2019)

Tabla 12. *Resultados de la entrevista a personal técnico de mantenimiento*

ENTREVISTA DE CONOCIMIENTOS AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO

				PUNTAJE TOTAL	
	CUESTIONARIO	**SI**	**NO**	**SI**	NO
1	¿Culminó su carrera técnica?	7	2	77.78%	22.22%
2	¿Sabe usted que es gestión de mantenimiento?	4	5	44.44%	55.56%
3	¿Conoce que es mantenimiento Productivo total TPM?	4	5	44.44%	55.56%
4	¿Conoce que es Mantenimiento Centrado en la confiabilidad RCM?	1	8	11.11%	88.89%
5	¿Sabe usted que es una orden de trabajo (OT)?	5	4	55.56%	44.44%
6	¿Usted cree que es especialista en su puesto de trabajo?	3	6	33.33%	66.67%
7	¿Sabe usted cuando y como cambiar un repuesto averiado?	8	1	88.89%	11.11%
8	¿Sabe usar herramientas de medición según su especialidad?	8	1	88.89%	11.11%
9	¿Conoce las normas ASTM, ANSI e ISO u otras normas?	5	4	55.56%	44.44%
10	¿Sabe que es las 5s?	7	2	77.78%	22.22%
11	¿Cree usted que no le falta conocimientos técnicos en su materia?	1	8	11.11%	88.89%
12	¿Sabe que es mantenimiento preventivo?	9	0	100.00%	0.00%
13	¿Sabe que es mantenimiento predictivo?	7	2	77.78%	22.22%
14	¿Sabe usted que es un peligro?	9	0	100.00%	0.00%
	TOTAL	**78**		61.90%	
	TOTAL		**48**		38.10%

Fuente: Propia (2019)

Tabla 13. *Resultados de la entrevista a personal operario*

ENTREVISTA DE CONOCIMIENTOS A OPERADORES DE PLANTA

				PUNTAJE TOTAL	
	CUESTIONARIO	**SI**	**NO**	**SI**	**NO**
1	¿Tiene algún estudio técnico?	6	10	37.50%	62.50%
2	¿Lo capacitaron antes de ingresar a su puesto de trabajo?	5	11	31.25%	68.75%
3	¿Tiene conocimiento en mecánica?	5	11	31.25%	68.75%
4	¿Tiene conocimiento en electricidad?	6	10	37.50%	62.50%
5	¿Tiene conocimiento en neumática?	3	13	18.75%	81.25%
6	¿Ha tenido experiencia en otro puesto similar?	8	8	50.00%	50.00%
7	¿Soluciona fallas primarias de sus máquinas y equipos cuando fallan?	14	2	87.50%	12.50%
8	¿Conoce el funcionamiento de sus máquinas?	12	4	75.00%	25.00%
9	¿Sabe cuándo se tiene que hacer mantenimiento a sus máquinas y equipos?	6	10	37.50%	62.50%
10	¿Tiene acceso a los manuales de operación de sus máquinas que opera?	1	15	6.25%	93.75%
11	¿Tiene un registro de operación de sus máquinas?	4	12	25.00%	75.00%
12	¿Cuenta con procedimientos o TEAM-WORK para hacer cambios de línea?	0	16	0.00%	100.00%
13	¿Cuenta con CHEC LIST de sus equipos?	0	16	0.00%	100.00%
	TOTAL	**70**		33.65%	
	TOTAL		**138**		66.35%

Fuente: Propia (2019)

Para poder determinar el estado actual de como se viene administrando el mantenimiento se evaluará los resultados de las encuestas realizadas al personal administrativo, técnico y operario a través de graficas que se detallan a continuación.

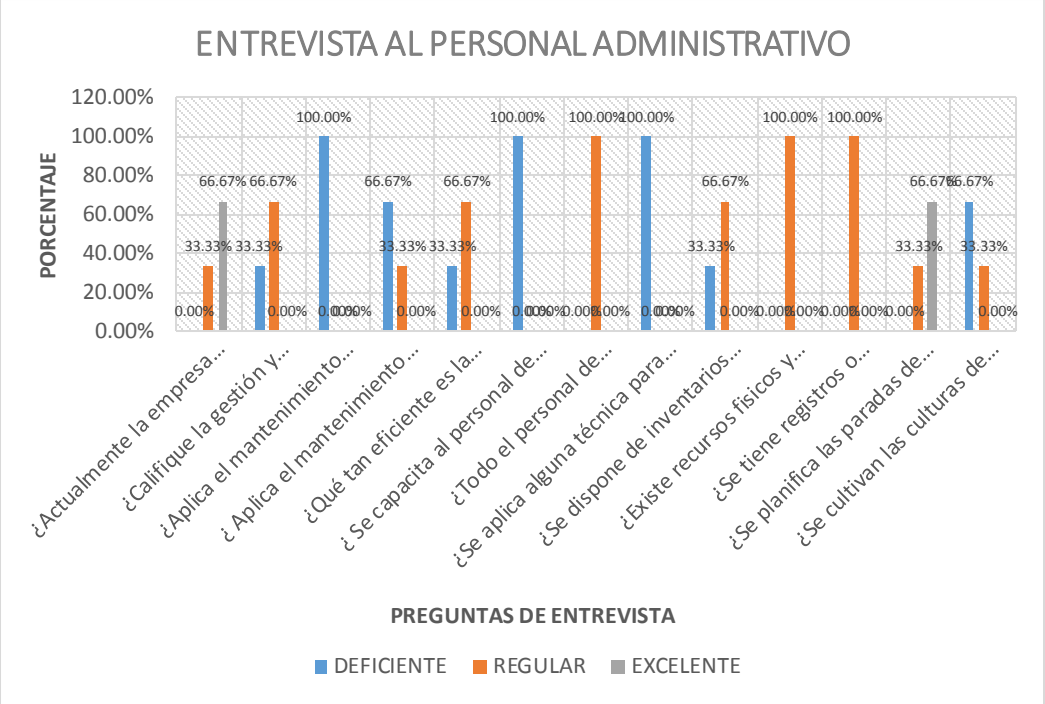


Gráfico 1.Resultados de entrevista al personal administrativo

Fuente: Propia

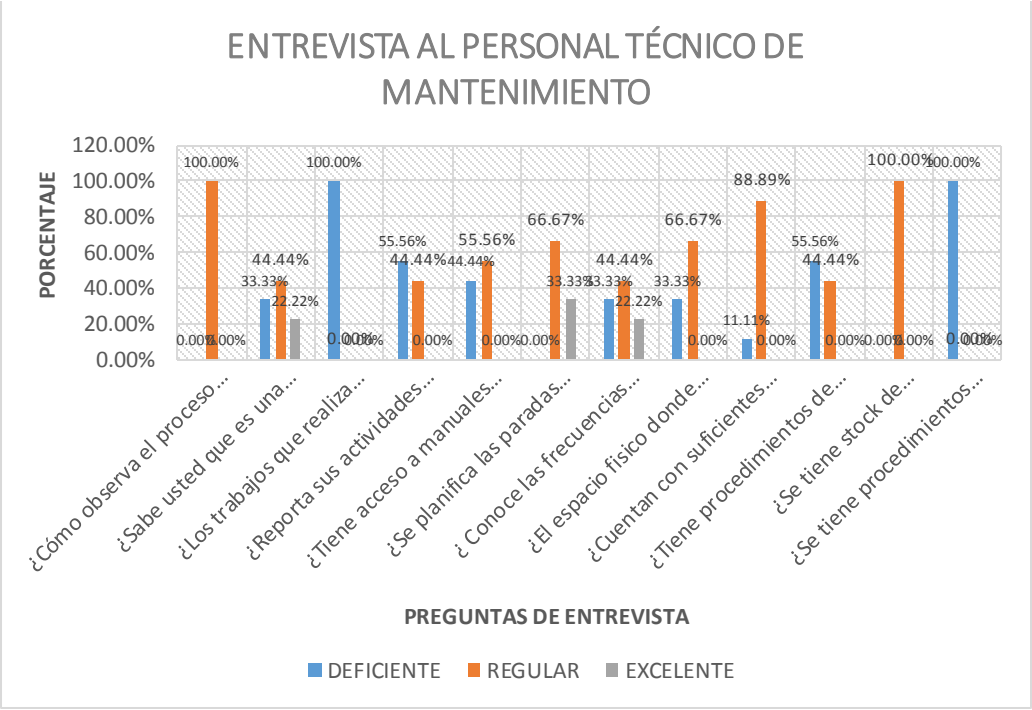


Gráfico 2.Resultados de entrevista al personal técnico de mantenimiento

Fuente: Propia

Resultados de las entrevistas de conocimientos al personal técnico y operarios de la empresa

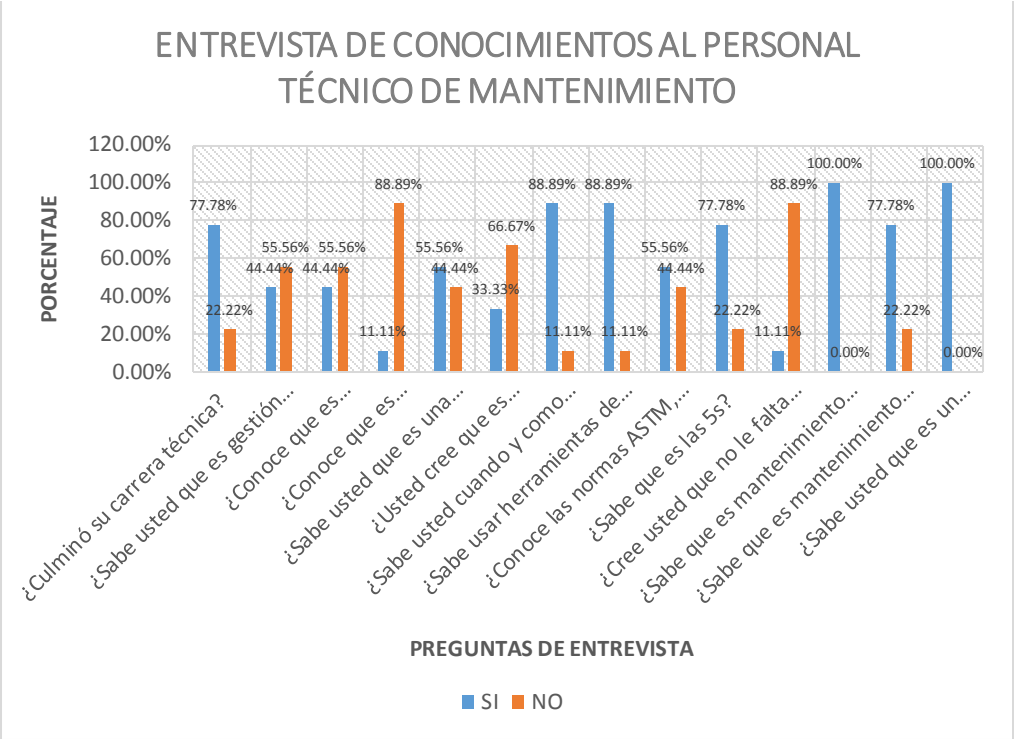


Gráfico 3.Resultados de entrevista de conocimientos al personal técnico

Fuente: Propia

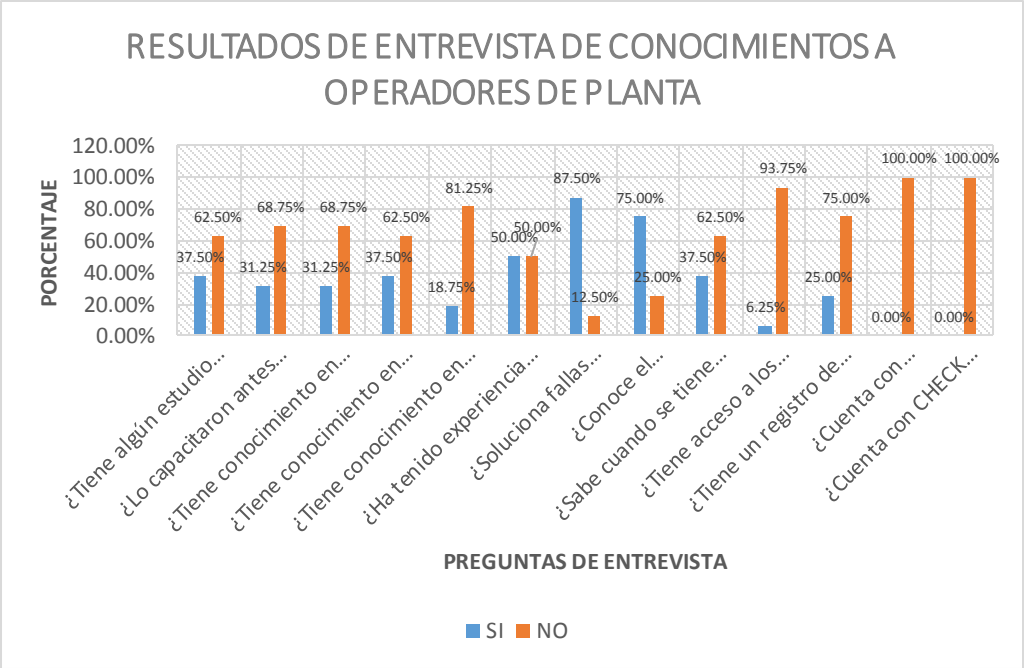


Gráfico 4.Resultados de entrevista de conocimientos al personal operario de planta

Fuente: Propia

3.1.1.4 Administración del mantenimiento

Se hace una evaluación general se observa que se carece de planificación y control de los trabajos o actividades que realiza el área de mantenimiento no cuenta con información de los indicadores, como tiempo promedios de fallas, tiempo de reparaciones, número de fallas de cada máquina, costos por reparaciones, cantidad de horas hombre y disponibilidad de los equipos, teniendo en cuenta que con estos indicadores el área de mantenimiento planificaría, clasificaría las actividades de acuerdo a la criticidad.

Se pudo verificar que el área no cuenta con un programa de mantenimiento documentado para cada máquina, no cuenta con procedimientos de trabajos, pero si se programa una parada semanal en el área de molienda y formado, pero en las demás áreas de planta no hay planificación de mantenimiento y siempre se realiza trabajos correctivos, esta técnica no es planificada y cuando se producen fallas repercuten directamente en el proceso ocasionando muchas pérdidas económicas para la empresa.

En los resultados de los indicadores de las entrevistas realizadas al personal administrativo concluye el 66.7% que la empresa si dispone de financiamiento adecuado para hacer cumplir los objetivos de mantenimiento.

- **Técnicas de mantenimiento**

El área de mantenimiento aplica técnicas básicas como mantenimiento (MP) preventivo y correctivo (MR) mas no aplica técnicas de mantenimiento como el RCM, CBM, AMEF Y TPM, y esto se puedo verificar cuando se calcula la disponibilidad de los equipos donde se observa múltiples defectos en diferentes máquinas, los resultados de las entrevistas a los técnicos se observan que el 100% conoce de mantenimiento preventivo.

También se determinó que el 100% no conoce ni aplica el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y el (AMEF) análisis de modo y efecto de fallas, solo el 33% conoce y aplica el mantenimiento autónomo, donde los operadores realizan actividades básicas de mantenimiento correctivo y esto se puede confirmar con las entrevistas realizadas al personal operario donde el 87.5% confirma que si realiza las actividades básicas de mantenimiento.

- **Capacitación**

No se capacita al personal de mantenimiento y personal operario, el personal siempre realiza las actividades de acuerdo a su experiencia adquirida en su puesto laboral o experiencias adquiridas en otros puestos de trabajo, esto ocasiona que el personal realice sus actividades muchas veces erradas por la falta de capacitación técnica, según las entrevistas se define que el 100% tiene conocimientos a un nivel 2 o regular, y el 88.9% requiere de capacitación en sus especialidades, el 44.6% desconoce las normas básicas que deben conocer los técnicos de mantenimiento.

El 22% no tiene una carrera técnica en el área de mantenimiento y el 62.5% de operadores no tiene estudios técnicos, el 68.7% comenta que no lo capacitaron antes de ingresar a sus puestos de trabajo esto ocasiona que se realice maniobras muchas veces erradas por la falta de conocimientos ocasionando fallas que afectan directamente al proceso de producción y los equipos.

- **Inspecciones básicas o check list**

No hay un rol de inspección o check list para controlar el estado de los equipos y tener la información adecuada para poder determinar que equipos presentan más fallas, con lo cual el área de mantenimiento no se asegura del buen funcionamiento de las máquinas, una falla pequeña puede generar grandes fallas cuando se debería prevenir a través de esta información que se ve muy básica, el 100% de los entrevistados en planta que cumplen funciones como operadores no conocen un check list por lo que es de mucha importancia para tener una alta disponibilidad.

El 75% de los operarios no reportan los acontecimientos que se presentan durante el periodo de operación dificultando el buen funcionamiento de los equipos con los operadores de turno ya que no hay un reporte adecuado de cada operación.

- **Trabajos planificados**

Se planifica los trabajos en ciertos sectores de planta de los cuales son, sector de molienda y formado, las demás áreas no se planifica los trabajos de mantenimiento siempre se espera que los equipos fallen ocasionando paradas imprevistas en cualquier momento durante el proceso, cuando se realiza pardas grandes mayor a 8 horas si se programa en coordinación con el área de producción para que tome las previsiones y se minimice los efectos a la producción.

- **Control de documentación**

El área de mantenimiento no dispone de control documentario por lo tanto no se registra archivos importantes como, número de fallas de cada máquina, tiempos de parada, informes de mantenimiento, ordenes de trabajo, esto se puede evidenciar en los resultados de la entrevista donde se registra el 55% como deficiente en el reporte de sus actividades y el 44% no tiene acceso a manuales y fichas técnicas de las máquinas para poder realizar un buen servicio de mantenimiento.

- **Resumen general del estado actual**

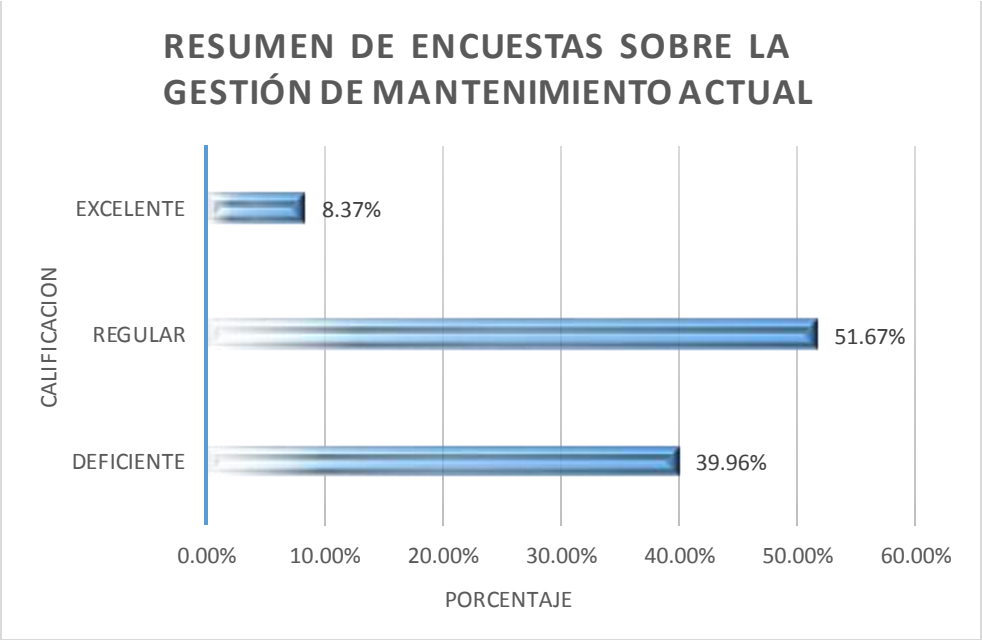


Gráfico 5.Resumen de entrevistas sobre la gestión de mantenimiento actual

Fuente: Propia

El 39.96% asegura que la gestión del mantenimiento actual es deficiente y el 51.67% reporta y afirma que la gestión es regular y en el sector operario de planta se observa que el 66.35% tiene debilidades y falta de técnica para desarrollar sus actividades eficientemente.

3.1.2 Evaluación de disponibilidad actual de los equipos.

Para evaluar la disponibilidad actual de los equipos de planta se tomó registros de los historiales que el área de mantenimiento o producción tengan archivados, sólo se encontró registros desde el mes de agosto del 2018, de más anterioridad no se tiene porque no se archivaban las paradas de máquinas o eventos de planta, por lo tanto, se realizará una evaluación de 10 meses (agosto 2018 a mayo 2019). Para calcular la disponibilidad se toma la fórmula de Michael Guy Deighton publicada en su libro FACILITY INTEGRITY MANAGEMENT.

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + PM} * 100\% \qquad \text{Ecuación: 12}$$

Leyenda

D(t): Disponibilidad (%)
T-I: Horas de producción Turno I
T-II: Horas de producción Turno II
H-DIA: Total, Horas de trabajo por día
H-MES: Total, horas de trabajo por mes.
N: Numero de fallas
TTR: Total, tiempo de fallas
MTBF: Tiempo promedio entre fallas
MTTR: Tiempo promedio para restaurar
MP: Tiempo programado para mantenimiento preventivo.

Tabla 14: *Disponibilidad actual del sector pre-mezcla y molienda - 2018*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (AGOSTO-DICIEMBRE) DEL SECTOR PREMEZCLADO Y MOLIENDA										
	T-1	T-2	H-DIA	H- MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
PREMEZCLADO TOLVAS TIERRAS										
Tolvas de tierra (1,2,3)	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	75	97.48%
fajas transportadoras premezclado	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	75	97.48%
Zaranda vibratoria	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	75	97.48%
Molino Hazemag	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	75	97.48%
Mezclador helicoidal 01	10	9	19	2907	1	20	1443.5	20	75	93.83%
MOLIENDA O PREPARACIÓN										
Tolvas de tierra	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	168	94.54%
fajas transportadoras molienda	10	9	19	2907	1	0.33	1453.3	0.33	168	89.62%
Zaranda vibratoria	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	168	94.54%
Molino primario	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	168	94.54%
Molino secundario	10	9	19	2907	4	3.17	580.8	0.79	168	77.48%
				DISPONIBILIDAD PROMEDIO SECTOR PRE-MEZCLADO-MOLIENDA						**93.45%**

Fuente: Propia (2019)

Tabla 15: *Disponibilidad actual del sector formado 1 y 2- 2018*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (AGOSTO-DICIEMBRE) DEL SECTOR FORMADO										
	T-1	T-2	H-DIA	H- MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
FORMADO 01 (LÍNEA ALTERNA)										
Fajas de transporte	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	168	94.54%
Prensa extrusora Bonfanti	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	168	94.54%
Cortadora de KK- MT8	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	168	94.54%
Cortadora de formatos huecos- S4	10	9	19	2907	0	0	2907.0	0	168	94.54%
Cargador automático 01	10	9	19	2907	1	3.33	1451.8	3.33	168	89.44%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										93.52%
FORMADO 02 (LINEA PRINCIPAL)										
Fajas de transporte	10	9	19	2907	6	3.69	414.8	0.61	168	71.10%
Prensa extrusora Bongioanni	10	9	19	2907	3	24.2	960.9	8.07	168	84.51%
Cortadora múltiple T&D	10	9	19	2907	17	14.2	170.2	0.83	168	50.20%
Cargador automático 02	10	9	19	2907	11	7.75	263.6	0.70	168	60.97%
Moldes	10	9	19	2907	3	1	968.7	0.33	168	85.19%
Bombas de vacío	10	9	19	2907	3	0.42	968.9	0.14	168	85.21%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										72.86%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO SECTOR FORMADO 1 - FORMADO 2										83.19%

Fuente: Propia (2019)

Tabla 16: *Disponibilidad actual sector secadero- 2018*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (AGOSTO-DICIEMBRE) DEL SECTOR SECADERO										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
SECADERO 1,2 Y 3										
transbordador entrada	8	8	8	3672	1	0.5	1835.8	0.5	0	99.97%
transbordador salida	8	8	8	3672	8	10	406.9	1.3	0	99.69%
Ventiladores viajantes internos	8	8	8	3672	18	44	190.9	2.4	0	98.74%
Extractores de humedad	8	8	8	3672	8	12.4	406.6	1.6	0	99.62%
Ventiladores de ingreso calor	8	8	8	3672	2	0.8	1223.7	0.4	0	99.97%
Vagonetas	8	8	8	3672	5	115	592.8	23.0	0	96.27%
Jaladores de vagonetas	8	8	8	3672	5	480	532.0	96.0	0	84.71%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										97.00%

Fuente: Propia (2019)

Tabla 17: *Disponibilidad actual sector apilado - 2018*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (AGOSTO - DICIEMBRE) DEL SECTOR APILADO										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
APILADO O CARGUIO										
Descargador 01	8	8	8	3672	24	4.2	146.7	0.18	0	99.88%
Descargador 02	8	8	8	3672	287	10	12.7	0.03	0	99.73%
Línea de robot	8	8	8	3672	26	6.8	135.7	0.26	0	99.81%
Brazo robot	8	8	8	3672	47	7.5	76.3	0.16	0	99.79%
Compresor	8	8	8	3672	6	1.9	524.3	0.32	0	99.94%
Jalador de coches	8	8	8	3672	5	520	525.3	104.00	0	83.47%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**97.10%**

Tabla 18: *Disponibilidad actual sector pre-horno y horno - 2018*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (AGOSTO - DICIEMBRE) DEL SECTOR PREHORNO Y HORNO										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
PRE-HORNO										
Pistón hidráulico jalador coches	8	8	8	3672	12	3	282.2	0.3	0	99.91%
Puertas entrada	8	8	8	3672	1	0.5	1835.8	0.25	0	99.99%
Puertas de salida	8	8	8	3672	1	0.3	1835.9	0.15	0	99.99%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**99.96%**
HORNO										
Transbordador entrada	8	8	8	3672	38	9	93.9	0.2	0	99.75%
Transbordador salida	8	8	8	3672	25	14.7	140.7	0.6	0	99.58%
Pistón de empuje entrada horno	8	8	8	3672	104	11	34.9	0.1	0	99.70%
Jalador de coches llenos entrada horno	8	8	8	3672	5	380	548.7	76.0	0	87.83%
Ventilador de humos	8	8	8	3672	1	2	1835.0	1.0	0	99.95%
Ventilador de recirculación	8	8	8	3672	2	0.9	1223.7	0.5	0	99.96%
Ventilador de contrapresión	8	8	8	3672	3	1.80	917.6	0.6	0	99.93%
Ventilador de enfriamiento Bóveda	8	8	8	3672	2	1.00	1223.7	0.3	0	99.97%
Puertas entrad - salida	8	8	8	3672	19	4.1	183.4	0.2	0	99.88%
Rampa de GNC	8	8	8	3672	18	6.7	192.9	0.4	0	99.81%
Equipos de inyección GNC	8	8	8	3672	53	20.2	67.6	0.4	0	99.44%
Equipos de inyección R500	8	8	8	3672	8	17.5	406.1	2.2	0	99.46%
Transbordador entrada	8	8	8	3672	38	9	93.9	0.2	0	99.75%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**98.77%**

Fuente: Propia (2019)

Tabla 19: *Disponibilidad actual sector planta GNC y energía eléctrica - 2018*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (AGOSTO-DICIEMBRE) DEL PLANTA GNC Y ENERGÍA ELÉCTRICA										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
PLANTA GNC										
Postes de descarga	8	8	8	3672	9	7.8	366.4	0.9	6	98.20%
Sala de descompresión	8	8	8	3672	3	0.45	917.9	0.2	6	99.35%
Sala de calderines	8	8	8	3672	16	4.93	215.7	0.3	6	97.23%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**98.26%**
ENERGIA ELECTRICA										
Sistema de utilización 10KV	8	8	8	3672	2	2	1223.3	0.66667	8	99.30%
Subestación de media tensión 10KV/0.46KV	8	8	8	3672	0	0	3672.0	0	8	99.78%
Grupo electrógeno	8	8	8	3672	0	0	3672.0	0	8	99.78%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**99.62%**

Fuente: Propia (2019)

Después de evaluar la disponibilidad en los últimos 06meses del año 2018 también se evaluará en los meses de enero hasta el día 25 de mayo de 2019 como final.

Tabla 20: *Disponibilidad actual del sector pre-mezcla - 2019*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (ENERO-MAYO) DEL SECTOR PREMEZCLADO Y MOLIENDA										
	T-1	T-2	H-DIA	H- MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
PREMEZCLADO TOLVAS TIERRAS										
Tolvas de tierra (1,2,3)	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	75	97.38%
fajas transportadoras premezclado	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	75	97.38%
Zaranda vibratoria	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	75	97.38%
Molino Hazemag	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	75	97.38%
Mezclador helicoidal 01	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	75	97.38%
MOLIENDA O PREPARACIÓN										
Tolvas de tierra	10	9	19	2793	2	2.83	1395.1	1.42	163	89.46%
fajas transportadoras molienda	10	9	19	2793	1	1	2792.0	1.00	163	94.45%
Zaranda vibratoria	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0.00	163	94.49%
Molino primario	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0.00	163	94.49%
Molino secundario	10	9	19	2793	4	9.75	695.8	2.44	163	80.79%
Tolva de finos	10	9	19	2793	1	0.33	1396.3	0.33	163	89.53%
Mezclador helicoidal 02	10	9	19	1045	2	2.83	2793.0	0.00	163	94.49%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO SECTOR PRE-MEZCLADO-MOLIENDA										**94.25%**

Fuente: Propia (2019)

Tabla 21: *Disponibilidad actual del sector formado 1 y 2- 2019*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (ENERO-MAYO) DEL SECTOR FORMADO										
	T-1	T-2	H-DIA	H- MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
FORMADO 01 (LÍNEA ALTERNA)										
Fajas de transporte	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	168	94.49%
Prensa extrusora Bonfanti	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	168	94.49%
Cortadora de KK- MT8	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	168	94.49%
Cortadora de formatos huecos- S4	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	168	94.49%
Cargador automático 01	10	9	19	2793	0	0	2793.0	0	168	94.49%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										94.49%
FORMADO 02 (LINEA PRINCIPAL)										
Fajas de alimentación	10	9	19	2793	0	0.00	2793.0	0.00	163	94.49%
Fajas de retorno	10	9	19	2812	2	0.67	937.1	0.33	163	85.16%
Prensa extrusora Bongioanni	10	9	19	2812	6	5.88	398.2	0.98	163	70.83%
Cortadora múltiple T&D	10	9	19	2793	10	4.68	253.5	0.47	163	60.79%
Cargador automático 02	10	9	19	2793	6	8.67	397.8	1.44	163	70.75%
Moldes	10	9	19	2793	7	6.33	348.3	0.90	163	68.00%
Bombas de vacío	10	9	19	2793	1	0.33	1396.3	0.33	163	89.53%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**77.08%**
DISPONIBILIDAD PROMEDIO SECTOR FORMADO 1 - FORMADO 2										**86.66%**

Fuente: Propia (2019)

Tabla 22: *Disponibilidad actual sector secadero- 2019*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (ENERO-MAYO) DEL SECTOR SECADERO										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
SECADERO 1,2 Y 3										
transbordador entrada	8	8	8	3528	5	3.35	587.4	0.7	52	91.77%
transbordador salida	8	8	8	3528	9	10.75	351.7	1.2	52	86.86%
Ventiladores viajantes internos	8	8	8	3528	23	49	145.0	2.1	52	72.81%
Extractores de humedad	8	8	8	3528	8	15	390.3	1.9	52	87.87%
Ventiladores de ingreso calor	8	8	8	3528	1	2	1763.0	2.0	52	97.03%
Vagonetas	8	8	8	3528	5	88	573.3	17.6	52	89.17%
Jaladores de vagonetas	8	8	8	3528	4	380	629.6	95.0	52	81.07%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**86.66%**

Fuente: Propia (2019)

Tabla 23: *Disponibilidad actual sector apilado - 2019*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (ENERO-MAYO) DEL SECTOR APILADO										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
APILADO O CARGUIO										
Descargador 01	8	8	8	3528	36	4.8	95.2	0.13	0	99.86%
Descargador 02	8	8	8	3528	272	19.55	12.9	0.07	0	99.44%
Línea de robot	8	8	8	3528	50	11.8	68.9	0.24	0	99.66%
Brazo robot	8	8	8	3528	24	5	140.9	0.21	0	99.85%
Compresor	8	8	8	3528	9	1.9	352.6	0.21	0	99.94%
Jalador de coches	8	8	8	3528	4	440	617.6	110.00	0	84.88%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**97.27%**

Tabla 24: *Disponibilidad actual sector pre-horno y horno - 2019*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (ENERO-MAYO) DEL SECTOR PREHORNO										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
PRE-HORNO										
Pistón hidráulico jalador coches	8	8	8	3528	11	2.5	293.8	0.2	0	99.92%
Puertas entrada	8	8	8	3528	1	0.2	1763.9	0.2	0	99.99%
Puertas de salida	8	8	8	3528	1	0.5	1763.8	0.5	0	99.97%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**99.96%**
HORNO										
Transbordador entrada	8	8	8	3528	50	10.2	69.0	0.20	8	89.95%
Transbordador salida	8	8	8	3528	20	14	167.3	0.70	8	95.33%
Pistón de empuje entrada horno	8	8	8	3528	102	9.8	34.2	0.10	8	81.81%
Jalador de coches	8	8	8	3528	6	390	448.3	65.00	8	86.08%
Ventilador de humos	8	8	8	3528	5	2	587.7	0.33	8	98.68%
Ventilador de recirculación	8	8	8	3528	0	0	3528.0	0.00	8	99.79%
Ventilador de contrapresión	8	8	8	3528	5	2.50	587.6	0.50	8	98.66%
Ventilador de recupero	8	8	8	3528	0	0.00	3528.0	0.00	8	99.79%
Ventilador de enfriamiento Bóveda	8	8	8	3528	2	0.5	1175.8	0.17	8	99.35%
Puertas horno	8	8	8	3528	14	5	234.9	0.36	8	96.76%
Rampa de GNC	8	8	8	3528	18	7	185.3	0.39	8	95.92%
Equipos de inyección GNC	8	8	8	3528	55	20	62.6	0.36	8	88.85%
Equipos de inyección R500	8	8	8	3528	5	23	584.2	4.60	8	97.97%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**94.53%**

Fuente: Propia (2019)

Tabla 25: *Disponibilidad actual sector planta GNC y energía eléctrica - 2019*

DISPONIBILIDAD PROMEDIO SEMESTRAL (ENERO-MAYO) DEL PLANTA GNC Y ENERGÍA ELÉCTRICA										
	T-1	T-2	T-3	H-MES	N	TTR (H)	MTBF (H)	MTTR (H)	MP (H)	Disponibilidad
PLANTA GNC										
Postes de descarga	8	8	8	3528	11	8.4	293.3	0.8	0	99.74%
Sala de descompresión	8	8	8	3528	59	4.6	58.7	0.1	0	99.87%
Sala de calderines	8	8	8	3528	14	2.117	235.1	0.2	0	99.94%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**99.85%**
ENERGIA ELECTRICA										
Sistema de utilización 10KV	8	8	8	3528	3	11	879.3	3.7	8	98.69%
Subestación de media tensión 10KV/0.46KV	8	8	8	3528	0	0	3528.0	0.0	8	99.77%
Grupo electrógeno	8	8	8	3528	0	0	3528.0	0.0	8	99.77%
DISPONIBILIDAD PROMEDIO										**99.41%**

Fuente: Propia (2019)

Después de evaluar la disponibilidad de cada sector de planta se puede observar que en algunos sectores la disponibilidad está dentro de los márgenes requeridos para un buen funcionamiento de planta, y en otros sectores se observa una disponibilidad muy baja, principalmente en los sectores de formado.

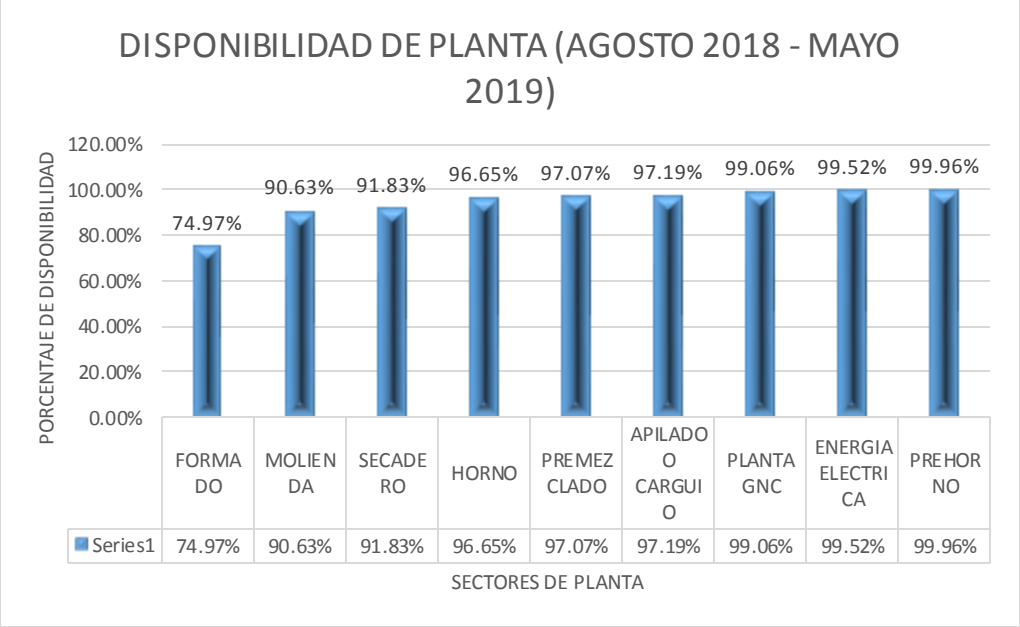


Gráfico 6. Disponibilidad general de planta (agosto 2018-mayo 2019)

Fuente: Propia (2019)

3.1.2.1 Costos por la baja disponibilidad

Se analizó teniendo en cuenta los aspectos más relevantes, de acuerdo a la criticidad, ya que hay zonas irrelevantes para el proceso de producción que no ocasionan paradas de la línea y afectan la productividad.

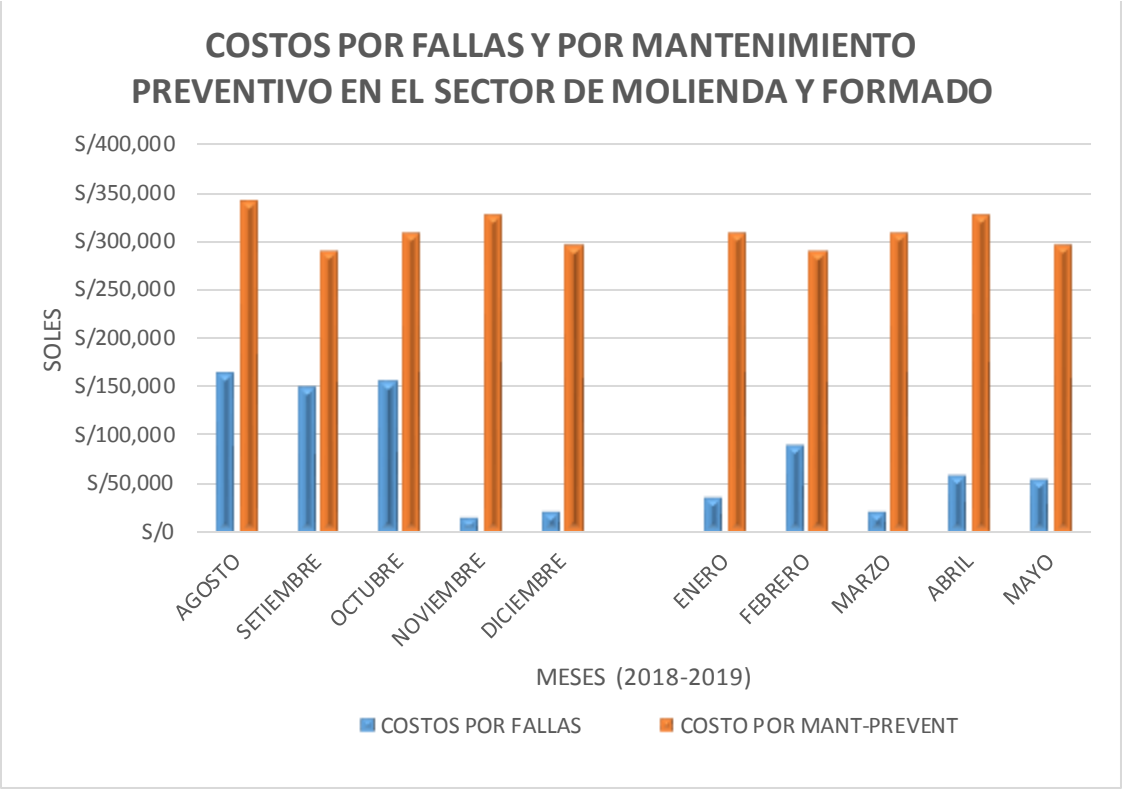


Gráfico 7. Costos por fallas y mantenimiento preventivo en zonas críticas

Fuente: Propia (2019)

Tabla 26. *Costos por paradas año 2018-2019*

Total, costo por paradas (agosto 2018 – mayo 2019)

Motivo de paradas	Horas paradas	Costo en soles
Por fallas	176.6h	S/784,980.00
Por mantenimiento preventivo (MP)	481h	S/2,307,889.00

Fuente: Propia (2019)

Finalmente, se analiza el costo de las fallas y paradas por MP entre agosto del 2018 y mayo del 2019, con el objetivo de evaluar la calidad del mantenimiento practicado por la empresa.

3.1.2.2 Análisis Pareto

Se usa la técnica de PARETO (Grafico 8) para determinar a través de sus reglas 80/20 donde el 20% de los defectos ocasionan el 80% de la baja disponibilidad de los equipos, en la siguiente grafica se puede observar la tendencia de la disponibilidad de toda la planta y se puede evidenciar la zona crítica, esto es muy útil para demostrar que subsistema es más vulnerable a las fallas y ocasione el 80% de la baja disponibilidad.

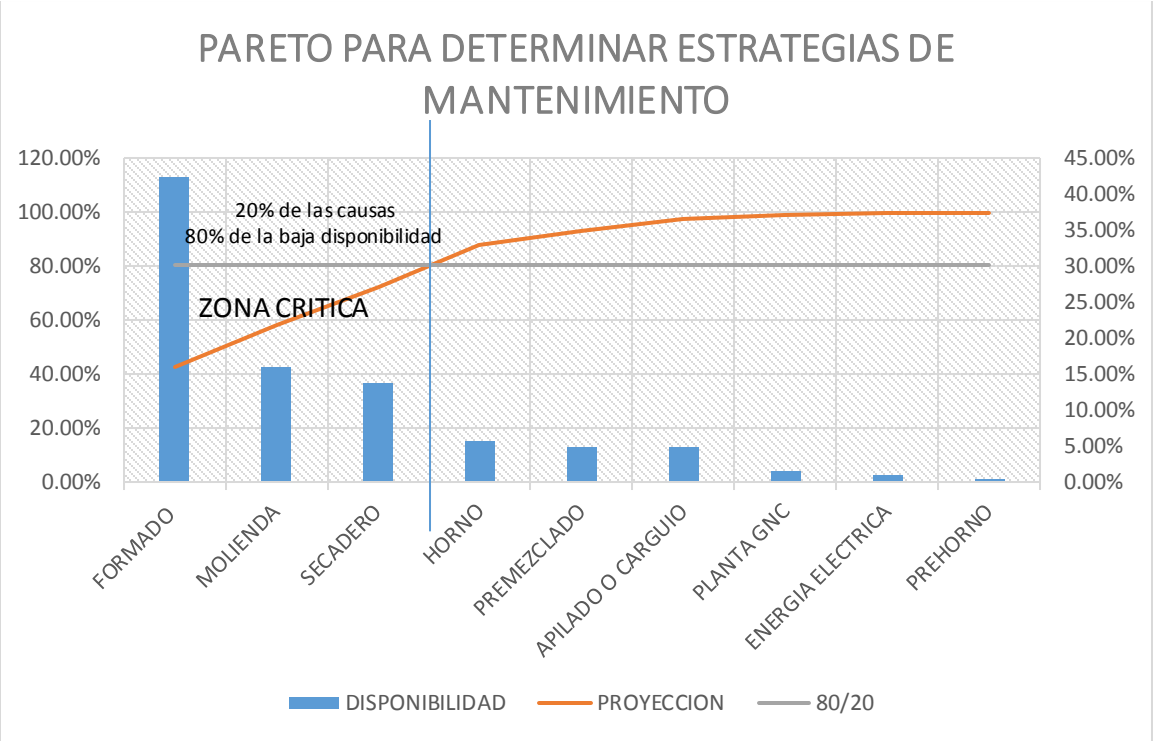


Gráfico 8. Análisis Pareto de disponibilidad

Fuente: Propia (2019)

En el sector de formado se observa muy baja disponibilidad a pesar que tiene una parada semanal para mantenimiento preventivo que regularmente es el día lunes según la información proporcionada por la empresa, en el área de molienda también se realiza una parada semanal para el mantenimiento preventivo, pero aun así hay paradas imprevistas, pero en menor cantidad. En el sector de secadero también se tienen paradas, pero por información de la empresa estas fueron por montaje y cambio de equipos que se realizaron en el 2019.

Teniendo en cuenta lo descrito se aplicará las técnicas del mantenimiento basado en la confiabilidad en área critica, la que se observa en el gráfico de análisis Pareto.

3.2 Evaluación de los equipos críticos.

El método de evaluación de los equipos críticos es una metodología en los conceptos de riesgos, permite establecer una jerarquía de los sistemas y equipos en función a sus variables de frecuencia y consecuencias globales, su finalidad es la optimización de los recursos y tener controlado hasta las tomas de decisiones.

3.2.1 Jerarquización de sistemas

La frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema y la consecuencia está referida al impacto que produce sobre los sistemas los más resaltantes son la producción y el impacto en seguridad y ambiente, en la siguiente tabla se detallas los criterios fundamentales para el análisis de criticidad.

Tabla 27. *Criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad*

Proceso: Línea de producción de ladrillos			
Descripción: Criterios de jerarquización de sistemas			
Frecuencia de fallas		**Costos de mantenimiento**	
▪ 1 falla/año	1	Menor a S/.1000,00.	1
▪ 2 a 3 fallas/año	2	Mayor a S/.1000,00	2
▪ 4 a 10 fallas/año	3	**Flexibilidad operacional**	
▪ 10 a 20 fallas/año	4	▪ Repuestos en stock	1
▪ < a 20 fallas/año	5	▪ Hay repuesto compartido	2
		▪ No hay repuesto	3
Impacto operacional		**Impacto en seguridad y ambiental**	
▪ No hay parda de proceso ni subsistemas	1	▪ No afecta al personal y al ambiente.	1
▪ Repercute en costos operacionales	2	▪ Los impactos no pasan los estándares.	2
▪ Parada del sub Sistema sin afectar a otro.	3	▪ Afecta las instalaciones causando daños menores.	3
▪ Paraliza la producción.	4	▪ Afecta las instalaciones causando daños graves.	4
▪ Parada total de línea	5	▪ Afecta a la seguridad de todo el personal.	5

Fuente: Propia (2019)

Tabla 28. Matriz general de criticidad

FRECUENCIAS					
5	CM	CM	CA	CA	CA
4	CM	CM	CA	CA	CA
3	CB	CM	CM	CA	CA
2	CB	CB	CM	CM	CA
1	CB	CB	CB	CM	CA
	5	10	15	20	25
	CONSECUENCIAS				

Criticidad baja: color verde

Criticidad media: color amarillo

Criticidad alta: color rojo

Fuente: Propia (2019)

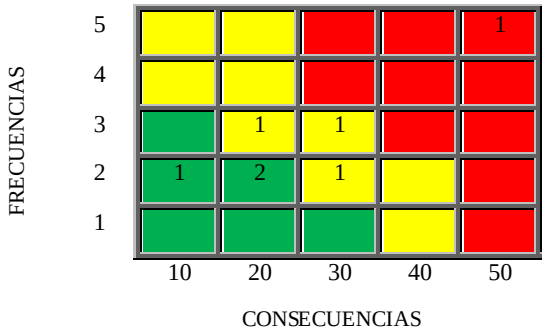
Tabla 29: *Jerarquización de subsistemas*

Descripción: Jerarquización de Sistemas

Proceso: Línea de producción de ladrillos

SISTEMAS	FRECUENCIA	SEGURIDAD Y AMBIENTE	FEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO OPERACIONAL	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACION DE CRITICIDAD
Premezclado	2	2	2	1	2	7	14	Baja
Molienda y preparación	3	2	1	2	3	8	24	Media
Formado o extrusión	5	2	2	2	4	10	50	Alta
Secadero	2	2	2	2	3	9	18	Baja
Apilado o carguío	2	2	2	2	2	8	16	Baja
Horno y pre homo	3	3	2	2	4	11	33	Media
Energía eléctrica	3	3	2	2	5	12	36	Media

Matriz de criticidad



Sistemas críticos:	1
Sistema medio crítico:	3
Sistema no crítico:	3
Total, Sistemas	**7**

Fuente: Propia (2019)

3.2.2 Jerarquización de equipos según su criticidad

Después de analizar los sistemas según su jerarquía de criticidad se evaluarán los equipos, para determinar la media y alta criticidad ya que en estos sistemas se utilizará la mayoría de recursos para mejorar la disponibilidad.

Tabla 30: *Jerarquización de los equipos de los sistemas*

Descripción: Jerarquización de equipos de subsistemas

Proceso: Línea de producción de ladrillos

ITEM	EQUIPOS	FRECUENCIA	SEGURIDAD Y AMBIENTE	FEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO OPERACIONAL	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACION DE CRITICIDAD
Sistema de molienda									
1	Tolvas de arcilla	2	2	2	2	2	8	16	**Baja**
2	Tolvas de tierra	2	2	2	2	2	8	16	**Baja**
3	Tolvas de finos	2	2	2	2	4	10	20	**Baja**
4	Molino Hazemag de impacto	1	2	1	2	4	9	9	**Baja**
5	Molino de martillos	3	3	1	2	3	9	27	**Media**
6	Fajas transportadoras	2	1	2	2	4	9	18	**Baja**
7	Zaranda vibratoria	1	1	3	2	3	9	9	**Baja**
8	Mezclador helicoidal	1	1	3	2	2	8	8	**Baja**
9	Tablero eléctrico de control y fuerza	1	2	2	2	4	10	10	**Baja**
Sistema de formado									
10	Prensa extrusora tecno 550 Bongioanni	5	2	2	2	4	10	50	**Alta**
11	Prensa extrusora Bonfanti	1	1	2	2	4	9	9	**Baja**
12	Mezcladora horizontal Bongioanni	1	2	2	2	4	10	10	**Baja**
13	Cortadora MT8	2	1	2	1	2	6	12	**Baja**
14	Cortadora S4	2	1	2	1	2	6	12	**Baja**
15	Cortadora múltiple	5	1	1	1	4	7	35	**Alta**
16	Fajas transportadoras alimentación	1	1	2	2	4	9	9	**Baja**
17	Fajas transportadoras de retorno	3	2	2	1	2	7	21	**Media**
18	Automatismo de carga 1	1	2	2	1	4	9	9	**Baja**
19	Automatismo de carga 2	4	2	2	1	4	9	36	**Alta**
20	Bomba de vacío	3	2	2	1	4	9	27	**Media**
21	Moldes	4	1	1	1	4	7	28	**Media**
22	Tablero eléctrico de control y fuerza	1	2	2	2	4	10	10	**Baja**

Fuente: Propia (2019)

Continuación de la tabla 30

Descripción: Jerarquización de equipos de Sistemas									
Proceso: Línea de producción de ladrillos									
ITEM	EQUIPOS	FRECUENCIA	SEGURIDAD Y AMBIENTE	FEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO OPERACIONAL	CONSECUENCIAS	TOTAL	JERARQUIZACION DE CRITICIDAD
Sistema horno y pre-horno									
23	Ventilador de humos	2	3	2	2	4	11	22	**Baja**
24	Ventilador de reciclo	2	2	2	2	3	9	18	**Baja**
25	Ventilador contrapresión	2	2	2	1	3	8	16	**Baja**
26	Ventilador de recupero	1	2	2	1	3	8	8	**Baja**
27	Ventilador de enfriamiento bóveda	3	2	2	1	1	6	18	**Media**
28	Equipos de inyección GNC	2	2	2	1	1	6	12	**Baja**
29	Equipos de encendido autónomo Jolly GNC	5	2	2	1	2	7	35	**alta**
30	Equipos de inyección R-500	4	2	1	2	2	7	28	**Media**
31	Pistón hidráulico de empuje coches horno	2	2	2	2	4	10	20	**Baja**
32	Pistón hidráulico jalador de coches pre horno	5	2	1	1	1	5	25	**Media**
33	Puertas de entrada-salida	3	2	2	1	3	8	24	**Media**
34	Transbordador movimentación de entrada - salida	3	2	1	1	4	8	24	**Media**
35	Tablero eléctrico de control y fuerza	1	2	2	2	4	10	10	**Baja**
Sistema energía eléctrica									
36	Sist. utilización 10kv	3	3	2	2	5	12	36	**Media**
37	Subestación de transformación	1	3	2	2	5	12	12	**Baja**
38	Sist. utilización 0.46kv	1	2	2	2	3	9	9	**Baja**
39	Grupo electrógeno	1	3	3	2	5	13	13	**Baja**

Fuente: Propia (2019)

Para resumir la evaluación de criticidad de los equipos se realizará un matriz donde se podrá observar que equipos y cuantificarlos según su criterio, esto nos ayudará a tener una mejor distribución de los recursos.

Tabla 31:*Reusmen de la evaluación de criticidad de los equipos*

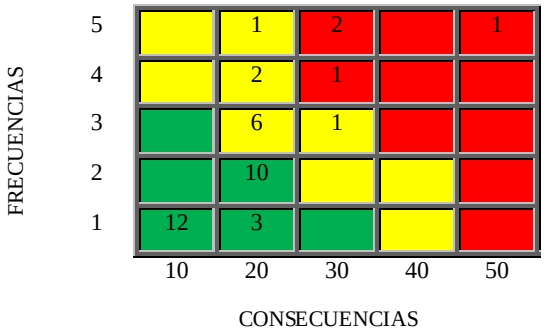
Descripción: matriz de criticidad de los equipos de sistemas más críticos

Proceso: Línea de producción de ladrillos

RESUMEN

	CRITICIDAD		
SISTEMA	**BAJA**	**MEDIA**	**ALTA**
Sistema de molienda.	8	1	0
Sistema de formado.	7	3	3
Sistema horno y pre-horno	7	5	1
Sistema energía eléctrica	3	1	0

POR LO TANTO, SE TIENE



Equipos críticos:	4
Equipos medio crítico:	10
Subsistema no crítico:	25
Total, Equipos	**39**

Fuente: Propia (2019)

3.3 Propuesta del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

3.3.1 Contexto operacional

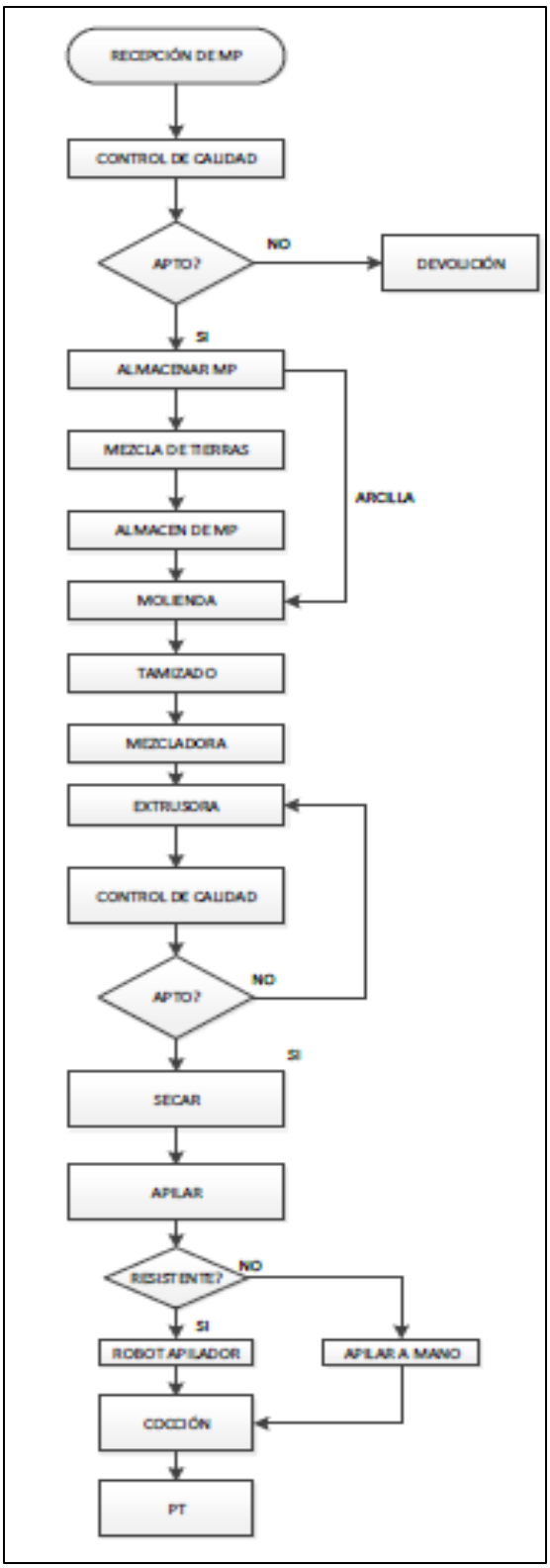


Figura 9. Proceso de línea de producción de ladrillos.

Fuente: Inversiones Mocce (2019)

- **Sistema tratamiento mecánico molienda y premezclado.**

En este proceso se logra refinar la materia porque pasa por 02 etapas, como la desintegración de los terrones, demolición de la arcilla y el premezclado. Para lograr la desintegración de los terrones se usa máquinas de impacto como molino de cuchillas y martillos esto permite desintegrar los terrones y los bloques de arcilla.

La materia desintegrada se zarandea para poder seleccionar granulometría de menor a 4mm y las mayores pasan a un molino secundario que refinan a la misma granulometría que se zarandea, finalmente esta materia es depositada sobre silos o tolvas, comúnmente se les llama tolvas de finos por contener el material previamente tratado (molido y premezclado).

Figura 10: Molino primario

Fuente: Propia

Figura 11. Molino secundario

Fuente: Propia

- **Sistema formado o extrusión**

Antes de llegar al proceso de formado o extrusión, la mezcla de los silos (tolvas de finos) se conduce a un mezclador aquí se agrega agua dosificada previamente tratada por un sistema de ablandamiento, el agua se dosifica de acuerdo al tipo de formato que se produzca, esta mezcla ya humidificada y mezclada se transporta por fajas hasta la extrusora.

El moldeado también llamado formado consiste en hacer pasar la mezcla atreves de una máquina que contiene mecanismo tipo sinfín accionados por un motorreductor de alta potencia mecánica que empuja la masa con las hélices sinfín a través de una boquilla al final de la estructura, esta boquilla se le llama también molde porque es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se quiere producir.

El moldeado o extrusión trabaja paralelamente con la succión de una bomba de vacío que succiona el oxígeno de la cámara de extrusión para que el material extruido tenga consistencia y no exista porosidades internas haciendo perder sus propiedades mecánicas. Luego que el material está extruido pasa una máquina en línea que toma como nombre cortador esta calibrada mecánicamente y electrónicamente para realizar corte al vuelo o corte con pre cortador.

Figura 12: Sistema de formado

Fuente: Propia

Cuando el material está cortado se carga en vagones de 7 niveles con una carga nominal de 2.2 tn, para realizar esta carga se usa un automatismo de carga que consiste en mecanismos que forman los paquetes de acuerdo a la programación de cada producto, luego es cargado con una mesa elevadora que se posiciona en los diferentes niveles de las vagonetas.

Figura 13. Automatismo de carga

Fuente: Propia

- **Sistema secado**

El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de extrusión para poder pasar a la fase de cocción, este es el proceso más delicado de la producción de ladrillos porque de esta etapa depende la gran parte el buen resultado y calidad del material.

La eliminación del agua del material crudo se realiza inyectando aire caliente con ventiladores con flujos mayores a 50,000 m3/h recuperado de la zona de enfriamiento del horno esta temperatura es controlada a 120°C como máximo con persianas automáticas, la inyección se realiza en proporción de la masa ingresada al secador, este flujo es conducido atreves de ventiladores internos y es extraído al otro extremo del túnel en forma de humedad con extractores axiales, estos son controlados con sensores de humedad relativa y variadores de frecuencia, eso permite evitar golpes termo higrométricos que puedan producir cambios bruscos como contracción del material a ritmos diferentes en distintas zonas del material consecuentemente se produce fisuras localizadas, el material sale a 60°C y con una humedad relativa que oscila entre 8 -15 % según sea la masa de ingreso que depende de los formatos.

Figura 14: Sistema de secado

Fuente: Propia

- **Sistema apilado o carguío.**

En esta zona se descarga el material las vagonetas de 2.2 ton que salen del secador y se vuelven a cagar en vagones de 5 ton que ingresa al pre horno finalmente al horno. Este proceso de apilado se realiza con sistemas mecánicos automatizados como automatismos de descarga, líneas robotizada de preparación de paquetes de acuerdo al formato programado.

Figura 15.Sistema apilado.

Fuente: Propia

- **Sistema horno y pre-horno**

En el pre-horno ingresan los vagones de 5 ton después del apilado y es aquí donde se extrae la humedad que el material a absorbido en el proceso de carguío y es preparado para que pueda ingresar al horno, esto se hace inyectando aire caliente a 100°C, este flujo de aire caliente es conducido desde la zona de enfriamiento del horno que es distribuido por todo el túnel atreves de ductos y la humedad es evacuada por un extractor, el vagón esta por un tiempo aproximado de 03 h luego pasa al horno.

Figura 16. Pre-horno

Fuente: Propia

El horno es el final del proceso de producción de ladrillos aquí ingresan los vagones previamente precalentados del pre-horno, el horno es un sistema continuo o también llamado horno túnel donde la cocción es dinámica, este proceso es también llamado cocción y tiene una curva térmica que está en función de la temperatura y los número de vagones o coches de cocción, inicialmente el horno tiene temperatura de 100°C, luego aumenta sucesivamente escalas de 50°C hasta alcanzar 900°C este es la temperatura máxima de cocción en esta zona esta aproximadamente 4 horas finalmente pasa a la etapa de enfriamiento donde la temperatura cae progresivamente 50°C hasta llegar a la puerta de salida.

El proceso de cocción está compuesto por un ventilador de humos (chimenea) que sirve para evacuar los gases de combustión generados en todo el proceso, consta de un recirculador o ventilador de reciclo este ventilador realiza una cortina interna ayudando a formar la curva térmica, la zona de quema o de combustión consta de 12 equipos de inyección a gas natural comprimido (GNC) estos equipos son controlados de forma automática por sensores de temperatura tipo K (termocuplas) reguladas por un controlador electrónico.

La zona de enfriamiento es donde se extrae la energía térmica ganada durante todo el proceso de preparación y cocción esta energía es recuperada atreves de un ventilador de recupero y es conducida al proceso de secado haciendo un ciclo combinado. Para poder mantener el equilibrio térmico en el horno se tiene que inyectar aire a temperatura ambiente con caudales aproximados de 30,000 m3/h esto ayuda a enfriar los productos y también a generar el caudal que luego es absorbido por el ventilador de recupero que tiene capacidad de 80,000 m3/h.

Figura 17. Horno equipos de inyección GNC

Fuente: Propia

3.3.1.1 Sistemas, subsistemas y equipos de planta

Se realizó un inventario de todas las máquinas existentes de toda la planta de los cuales se tomó la descripción del sistema, subsistema, equipos, capacidad y cantidad.

Tabla 32. *Inventario de equipos*

Proceso: Línea de producción de ladrillos			
Descripción: Equipos y componentes del Sistema			
EQUIPOS Y COMPONENTES		**CAPACIDAD**	**CAN'T**
Sistema premezclado			
	TOLVAS DE TIERRAS	60 T/H	3
	FAJAS TRANSPORTADORAS	60 T/H	9
	MEZCLADOR HELICOIDAL	60 T/H	1
	TABLERO ELECTRICO		1
Sistema Molienda y preparación			
	TOLVAS DE TIERRA Y ARCILLA	60 T/H	2
	TOLVAS DE FINOS	60 T/H	1
	MOLINO HAZEMAG DE IMPACTO	60 T/H	1
	MOLINO DE MARTILLOS	60 T/H	1
	FAJAS TRANSPORTADORAS	60 T/H	5
	ZARANDA VIBRATORIA	60 T/H	1
	MEZCLADOR HELICOIDAL	60 T/H	1
	TABLERO ELECTRICO DE CONTROL Y FUERZA		1
Sistema Formado o extrusión			
	PRENSA ESTRUSORA BONGIOANNI	35-45 T/H	1
	PRENSA EXTRUSORA BONFANTI	18-28 T/H	1
	MEZCLADORA HORIZONTAL	35-45 T/H	1
	CORTADORA MT8	30 T/H	1
	CORTADORA S4	30 T/H	1
	CORTADORA MULTIPLE	60 T/H	1
	FAJAS TRANSPORTADORAS	30 T/H	7
	AUTOMATISMO DE CARGA	32 T/H	2
	TABLERO ELECTRICO DE CONTROL Y FEURZA		1

Continuación de la tabla 32

Proceso: Línea de producción de ladrillos			
Descripción: Equipos y componentes del Sistema			
EQUIPOS Y COMPONENTES		**CAPACIDAD**	**CAN'T**
Sistema de secadero			
	VENTILADOR CENTRIFUGO DE INYECCION CALOR SEC. 1, 2	60,000 M3/H	2
	VENTILADOR DE INYECCION CALOR SEC. 3	32,000 M3/H	1
	EXTRACTOR AXIAL DE HUMEDAD	9,000 M3/H	9
	VENTILADOR CONICO VIAJANTES INTERNOS	28,000 M3/H	15
	VENTILADOR AXIAL VIAJANTE INTERNOS	15,000 M3/H	27
	MOVIMENTADOR DE VENTILADORES VIAJANTES	-	3
	TRANSBORDADOR DE VAGONETAS	60 T/H	2
	TABLERO ELECTRICO DE CONTROL Y FUERZA		2
Sistema Apilado o carguío			
	AUTOMATISMO DE DESCARGA	32 T/H	2
	LINEA ROBOTIZADAS DE APILADO	32 T/H	1
	JALADOR MECANICO	60 T/H	6
	TRANSBORDADOR DE MOVIMENTACION VAGONETAS VACIAS	60 T/H	1
	TABLERO ELECTRICO DE CONTROL Y FUERZA		3
Sistema Horno y pre-horno			
	VENTILADOR DE HUMOS	50,000M3/H	1
	VENTILADOR DE RECICLO	32,000M3/H	1
	VENTILADOR CONTRAPRESION	32,000M3/H	1
	VENTILADOR DE RECUPERO	80,000M3/H	1
	VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO RAPIDO	5,000M3/H	2
	EQUIPOS DE INYECCION GNC	-	14
	EQUIPOS DE ENCENDIDO AUTONOMO GNC	-	02
	EQUIPOS DE INYECCION R-500	-	12
	PISTON HIDRAULICO DE EMPUJE COCHES DE COCCION	200T	1
	PISTON HIDRAULICO JALADOR DE COCHES PREHORNO	150T	1
	PUERTAS DE ENTRADA-SALIDA	-	5
	TRANSBORDADOR MOVIMENTACION DE ENTRADA - SALIDA	60T/H	2
	TABLERO ELECTRICO DE CONTROL Y FUERZA	-	2

Fuente: Propia (2019)

3.3.2 Funciones del sistema y fallas funcionales

Para nuestro estudio se analizará las funciones y fallas funcionales de los equipos más críticos que previamente se jerarquizó mediante criterios de criticidad.

Descripción: Funciones del sistema y fallos funcionales	
Sistema: 1. Molienda	**Facilitador**: Rubén Martínez C.
Equipo: Molino secundario	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
1.1 Moler arcilla desde 20mm que selecciona la zaranda, la granulometría molida tendrá que ser 3 a 4mm.	1.1.1 Deja pasar granulometría mayor a lo requerido 1.1.2 Se detiene por rotura de martillos. 1.1.3 Se llena de material en las parrillas y baja su capacidad de producción. 1.1.4 Fuga excesivo polvo por las guardas superiores e inferiores.

Descripción: Funciones del sistema y fallos funcionales	
Sistema: 2. Formado	**Facilitador**: Rubén Martínez C.
Equipo: Prensa extrusora Bongioanni	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
2.1 Extruir material humidificado con un promedio de 35t/h a través del molde o boquilla, esto le da la forma geométrica de cada producto.	2.1.1 Baja producción promedia por fallas electromecánicas. 2.1.2 Parada imprevistas del desgasificador y aspas de arrastre.
Equipo: Cortadora múltiple T&D	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
2.2 Corte del material extruido a medidas estandarizadas por la NTP a una velocidad entre 30 a 50 t/h.	2.2.1 Cortes fuera de los estándares. 2.2.2 Exceso de paradas por fallas de mecanismos.
Equipo: Fajas de retorno	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
2.3 Retornar el material de recorte y excedente hacia línea de extrusión mediante 04 fajas de transporte.	2.3.1 Paradas imprevistas por atascamiento de polines. 2.3.2 Desalineamiento de faja de jebe.

Descripción: Funciones del sistema y fallos funcionales	
Sistema: Formado	**Facilitador**: Rubén Martínez C.
Equipo: Automatismo de carga #2	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
2.4 Preparar los paquetes de diferentes formatos cortados para cargar a vagonetas.	2.4.1 No prepara adecuadamente los paquetes. 2.4.2 Remarca los ladrillos ocasionando pérdida de calidad.
2.5 Cargar los paquetes con un elevador hacia las vagonetas de 2.2 ton.	2.5.1 No carga uniformemente porque sufre choques sobre vagonetas.
Equipo: Bomba de vacío	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
2.6 Absorber partículas de oxígeno de la cámara de vacío en la extrusora a una depresión entre 25-29 mmHg	2.6.1 Vacío por debajo de 25mmHG.
Equipo: Extrusora Bongioanni	**Facilitador**: Rubén Martínez C.
Componente: Moldes o boquillas	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
2.7 Dar forma geométrica a los diferentes productos según los estándares de la NTP.	2.7.1 Productos son formados fuera de los estándares (cortes internos, alabeo y asimetría y sobre pesos).

Descripción: Funciones del sistema y fallos funcionales	
Sistema: 3. Horno	**Facilitador**: Rubén Martínez C.
Equipo: Ventilador de enfriamiento bóveda.	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
3.1 Succionar aire caliente de bóveda de horno (techo estándar y techo refractario) para el enfriamiento y evite deformación de estructuras.	3.1.1 Paradas imprevistas de ventiladores (operarios se lo detectan después de periodos largos).
Equipo: Equipos de encendido autónomo JOLLY	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
3.2 Preparar el material que ingresa al horno a una temperatura de 650°C, es vital para el proceso térmico y mantener las propiedades de los productos.	3.2.1 No llegan a las temperaturas de Set-Point.

Descripción: Funciones del sistema y fallos funcionales	
Sistema: Horno	**Facilitador**: Rubén Martínez C.
Equipo: Equipos de inyección R_500	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
3.3 Inyección de combustible alterno (R-500) para cocción del material ingresado al horno.	3.3.1 Se perturba la inyección y baja las temperaturas.

Equipo: Pistón hidráulico pre-horno (jalador)	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
3.4 Alimentar al pre-horno con coches llenos que vienen del apilado.	3.4.1 No alimenta adecuadamente por paradas súbitas.

Equipo: Puerta entrada de horno	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
3.5 Mantener el horno en hermeticidad durante el proceso (solo abrir cuando se tiene que empujar vagones al horno).	3.5.1 No hermetiza adecuadamente. 3.5.2 No abre puerta cuando tiene que hacerlo.

Equipo: Transbordador entrada	**Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
3.6 Movimentar vagones llenos de pre-horno hacia horno.	3.6.1 No movimenta adecuadamente (paradas repentinas).

Descripción: Funciones del sistema y fallos funcionales	
Sistema: 4 Energía eléctrica Sistema de utilización 10KV	**Facilitador**: Rubén Martínez C. **Fecha:** 10-05-2019
Funciones del sistema	**Fallas funcionales**
4.1 Alimentación de energía eléctrica a planta en 10KV.	4.1.1 Cortes de fluido eléctrico inesperadamente (ocasiona parada de producción).

3.3.3 Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Es una técnica analítica de confiabilidad sistemática para identificar, analizar y reducir las fallas, se considera una herramienta estructurada que paso a paso cuantifica los efectos de una falla potencial permitiendo a una empresa u organización a establecer prioridades para las actividades de gestión de riesgos. Se puede examinar prospectivamente un proceso de alto riesgo e identificar vulnerabilidades para generar medidas correctivas, por lo tanto, una gran cantidad de los gastos, los recursos y el tiempo se pueden ahorrar analizando los escenarios de fallas antes de que ocurra. (Liu, 2019, P.16).

Para determinar la priorización de los modos de falla habitualmente se usa el número de prioridad de riesgo (RPN), que es el producto de los factores O, S y D esto se realiza por cada falla que se encuentre en el sistema o subsistema.

$$RPN = O \ x \ S \ x \ D$$

Ecuación: 13

Leyenda

O: Ocurrencia
S: Severidad
D: Detectabilidad

Donde O es la probabilidad o frecuencia de la falla, S es la gravedad (consecuencia) de la falla, y D es la capacidad de detectar la falla antes del impacto, cada uno de los tres factores de riesgo se clasifican generalmente en una escala numérica que varía de 1 al 10.

Tabla 33. *Clasificación de ocurrencia de modo de fallas.*

CALIFICACIÓN TRADICIONAL PARA LA OCURRENCIA DE UN MODO DE FALLA		
CLASIFICACIÓN	PROBABILIDAD DE FALLA	POSIBLE RATIO
10	Extremadamente alto: fracaso casi inevitable.	≥1 / 2
9	Muy alto	1 / 3
8	Fallas repetidas	1 / 8
7	Alto	1 / 20
6	Moderadamente alto	1 / 80
5	Moderado	1 / 400
4	Relativamente bajo	1 / 2,000
3	Bajo	1 / 15,000
2	Remoto	1/50,0000
1	Casi imposible	≤1 / 1,500,000

Fuente: (Liu, 2016)

Tabla 34. *Calificación de severidad de un modo de falla.*

CALIFICACIÓN TRADICIONAL PARA LA SEVERIDAD DE UN MODO DE FALLA		
CLASIFICA	EFECTO	SEVERIDAD DEL EFECTO
10	Peligroso sin previo aviso casi inevitable.	Clasificación de gravedad más alta de un modo de falla, que ocurre sin advertencia, y la consecuencia es peligrosa
9	Peligroso con advertencia	Clasificación de mayor severidad, ocurriendo con advertencia y la consecuencia es peligrosa
8	Muy alto	El funcionamiento del sistema o equipo se descompone sin comprometer la seguridad
7	Alto	La operación del sistema o equipo puede continuar, pero el rendimiento del sistema o equipo se ve afectado.
6	Moderado	El funcionamiento del sistema continúa y el rendimiento de sistema o equipo esta degradado.
5	Bajo	El rendimiento del sistema o equipo se ve seriamente afectado y se necesita mantenimiento.
4	Muy bajo	El rendimiento del sistema o equipo se ve menos afectado y el mantenimiento no puede ser necesario.
3	Menor	Desempeño del sistema y satisfacción con efectos menores.
2	Ninguno	Rendimiento y satisfacción del sistema con ligero efecto.
1	Casi imposible	Sin efecto.

Tabla 35. *Calificación de detectabilidad de un modo de falla*

CALIFICACIÓN TRADICIONAL PARA LA DETECTABILIDAD DE UN MODO DE FALLA		
CLASIFIC	DETECCIÓN	CRITERIO
10	Absolutamente imposible	El control de diseño no detecta una posible causa de falla o modo de fallo posterior o no hay control de diseño.
9	Muy remoto	Posibilidad muy remota el control de diseño detectará un potencial, inspección solo el producto final en base a la calidad.
8	Remoto	Posibilidad remota de que el control de diseño detecte una causa potencial, inspección a base de un modelo previamente probado.
7	Muy bajo	Muy baja posibilidad de que el control de diseño detecte una causa potencial, inspección manual con ayuda de equipos tecnologicos.
6	Bajo	Baja probabilidad de que el control de diseño detecte una causa potencial, inspección manualmente usando pruebas de ensayo y error.
5	Moderado	Probabilidad moderada, el control de diseño detectará una causa potencial de fallo o modo de fallo posterior (25% automatizado).
4	Moderadamente alto	Probabilidad moderadamente alta, el control de diseño detectará un potencial causa del fallo o modo de fallo subsiguiente (50% automatizado).
3	Alto	Es muy probable que el control de diseño detecte una causa potencial de fallo o modo de fallo posterior (75% automatizado).
2	Muy alto	Muy alta probabilidad de que el control de diseño detecte una causa potencial de fallo o modo de fallo posterior (100% automatizado).
1	Casi seguro	El control de diseño casi seguramente detectará una causa potencial de fallo o modo de fallo posterior (100% automatizado con control riguroso).

Fuente: (Liu, 2016)

Tabla 36. *Análisis de modo y efecto de fallas de los sistemas*

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Molienda	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0001
			Pagina 1 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenc	Acciones actuales	Deteccion	RPN	Frecuencia de ocurrencia
1.1	Moler arcilla desde 20mm que selecciona la zaranda, la granulometría molida tendrá que ser 3 a 4mm	1.1.1	Deja pasar granulometría mayor a lo requerido	1.1.1.A	Falla en parillas	Mala calidad de molienda fuera de limites de granulomteria, paradas itermitentes, perdidad de produccion	7	1.1.1.A1	Ingreso de materiales extras a los del proceso, occionan abertura de parillas.	7	Tapan grietas con silicona u otro agente adesivo.	7	343	1 vez cada mes
1.1		1.1.2	Se detiene por rotura de martillos	1.1.2.B	Falla en los martillos	Parada definitiva de molino ocaciona perdidas de produccion (7 horas aprox)	10	1.1.2.B1	Ingreso de objetos metalicos	5	Se cambia martillos y parrillas porque se deteriora al sufrir el impacto.	7	350	2 veces por año
1.1							10	1.1.2.B2	Falla de material (fundicion)	2	Se cambia juego de martillos y se hace reclamo a fundicion.	9	180	Cada 4 años
1.1							10	1.1.2.B3	Falla del manenimiento preventivo (ajuste, cambios)	4	Se realiza mantenimiento correctivo inmediato.	7	280	1 vez cada 02

Fuente: Propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Molienda	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0002
			Pagina 2 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenc	Acciones actuales	Deteccion	RPN	Frecuencia de ocurrencia
1.1		1.1.3	Se llena de material las parillas y baja su productividad	1.1.3.A	Falla en parillas de impacto	Saturacion de parrillas, aumento de corriente del motor ocacionando parada por sobrecarga (parada 30 min)	7	1.1.3.A1	Ingreso de material húmedo	4	Se limpia molino.	7	196	Cada 6 meses
1.1		1.1.4	Fuga de polvo por guardas	1.1.4.A	Falla de guardas	Averias de rodajes y desperdicio de materia prima.	3	1.1.4.A1	Guardas deterioradas	9	Limpieza del area.	6	162	Cada semana

Fuente: propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Formado	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0003
			Pagina 3 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenc	Acciones actuales	Detección	RPN	Frecuencia de ocurrencia
2.1	Extruir material humidificado con un promedio de 35t/h a través del molde o boquilla, esto le da la forma geométrica de cada producto.	2.1.1	Baja producción promedia por fallas electromecánicas.	2.1.1.A	Falla motorreductores de aspas (2 unid)	Baja de produccion por las paradas cuando el motorreductor se averian parada por 5 horas aproximada.	8	2.1.1.A1	Subdimensionamiento de motorreductor para operaciones con diferentes formatos	6	Se cambia motorreductor cada ves que falla.	9	432	Cada 4 meses
							8	2.1.1.A2	Subdimensionamiento de motorreductor para operaciones con diferentes formatos	10	Se resetea sistema de protección	2	160	5 a 6 veces por día
2.1		2.1.2	Parada imprevistas del desgasificador y aspas de arrastre	2.1.2.B	Sobrecarga de motor eléctrico	Baja de produccion por las paradas, el motor de detiene 4 paradas por dia	7	2.1.2B1	Ingreso de material con mayor densidad porque se recupera material desechado y se vuelve a extruir	10	Se resetea arrancador y se baja carga.	5	350	2 veces al dia
2.1							7	2.1.2.B2	Mala operación	10	Recetean el arrancador y continúan con producción.	6	420	2 veces al dia

Fuente: propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Formado	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0004
			Pagina 4 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenc	Acciones actuales	Deteccion	RPN	Frecuencia de ocurrencia
2.2	Corte del material extruido a medidas estandarizadas por la NTP a una velocidad entre 30 a 50 t/h.	2.2.1	Cortes fuera de los estándares.	2.2.1.A	Falla de pinzas de corte	Baja de produccion y baja calidad por ladrillos defectuosos (Mermas altas, devoluciones perdidas economicas mayores a S/5,000.00)	6	2.2.1.A1	Mala instalacion de de pinzas cuando se cambia formato	6	Se rectifica despues de periodos prolongados de operación.	7	252	1 vez cada 3 meses
2.2							6	2.2.1.A2	Mala instalacion de los alambre de corte	5	Se tensa alambres.	6	180	2 veces por mes
2.2							6	2.2.1.A3	Rotura de pernos de sujeción	6	Se cambia pernos.	3	108	Cada 3 meses
							6	2.2.1.A4	Mala calibracion de sensores	9	Se paraliza la másquina y se recalibra sensores.	2	108	Cada 2 dias

Fuente: propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Formado	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0005
			Pagina 5 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenc	Acciones actuales	Deteccion	RPN	Frecuencia de ocurrencia
2.2		2.2.2	Exceso de paradas por fallas de mecanismos.	2.2.2.A	Fallas en el sistema de transmisión.	Baja productividad, perdidas de horas/hombre y gasto de energia electrica porque subsistemas estan en funcionamiento.	7	2.2.2.A1	Desgaste de cadenas y piñones	6	Se empalma cadenas y se continua proceso de corte	6	252	Cada 3 meses
2.2							7	2.2.2.A2	Rotura de pernos en guías	5	Se cambia pernos y guias.	5	175	1 vez cada 4 meses
2.2							7	2.2.2.A3	Desgaste de guias	6	Se cambian guias	6	252	1 ves cada 3 meses
2.2		2.2.3	No corta en forma continua.	2.2.3.A	Fallas en mesa de corte y compuerta descarte.	Baja productividad, perdidas de horas/hombre y gasto de energia electrica porque subsistemas estan en funcionamiento.	7	2.2.3.A1	Deformacion de rodillos de mesa de corte	6	Se cambia rodillos.	4	168	Cada 3 meses
2.2							7	2.2.3.A2	Avería de mesa descarte	6	Se repara las fallas .	6	252	1 ves cada 3 meses

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Formado	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0006
			Pagina 6 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenc	Acciones actuales	Deteccion	RPN	Frecuencia de ocurrencia
2.3	Retornar el material de recorte y excedente hacia línea de extrusión mediante 04 fajas de transporte	2.3.1	Paradas imprevistas por atascamiento	2.3.1.A	Fallas de polines por atascamiento.	Parada de sistema y baja productividad.	7	2.3.1.A1	Ingreso de material excedente sobre estructura de fajas	10	Limpieza de zona	6	420	Diario
2.3							7	2.3.1.A2	Mal diseño de guardas	5	Ninguno	6	210	-
2.3							7	2.3.1.A3	Guardas averiadas	10	Se repara muy poco	6	420	-
2.3		2.3.2	Paradas por desalineamiento de faja	2.3.2.A	Falla en ajuste y alineamiento	Parada de sistema y baja productividad.	7	2.3.2.A1	Llenado de material en polin conductor y conducido	7	Se destraba polines y se alinea fajas	5	245	1 vez por mes
2.3							7	2.3.2.A2	Falta de limpíeza e inspección	7	Se limpia muy poco	2	48	-

Fuente: propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricación de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Formado	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0007
			Pagina 7 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenci	Acciones actuales	Detección	RPN	Frecuencia de ocurrencia
2.4	Preparar los paquetes de diferentes formatos cortados para cargar a vagonetas	2.4.1	No prepara adecuadamente los paquetes	2.4.1.A	Falla de programacion .	Parada de sistema y baja productividad,	7	2.4.1.A1	Programación de secuencias algorítmica defectuosa.	9	Ninguno	2	126	4 veces por semana
2.4							7	2.4.1.A2	Mal ajuste de posicion de sensores.	8	Ninguno	2	112	3 veces por semana
2.4		2.4.2	Remarca los ladrillos	2.4.2.A	Desgaste de mecanismos	Baja calidad de productos, ocaciona devolucion de productos.	7	2.4.2.A1	Oxidación de mecanismos	5	Ninguno	6	210	1 vez por año
2.5	Cargar los paquetes con un elevador hacia las vagonetas de 2.2 ton	2.5.1	No carga uniformemente porque sufre choques con vagonetas	2.5.1.A	Falla en el control y deterioro de mecanismos	Roturas de estructuras y perdidas de producción	7	2.5.1.A1	Vagonetas con estanterias deterioradas	5	Mantenimiento correctivo	6	210	1 vez por año
2.5							7	2.5.1.A2	Mesa de carga de elevador presenta deterioro	5	Mantenimiento correctivo	6	210	1 vez por año
2.5							7	2.5.1.A3	Centrador de vagoentas con guias desgastadas	5	Ninguno	4	140	1 vez por año

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricación de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Formado	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0008
			Pagina 8 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severida	#	Potencial causa de falla	Ocurren	Acciones actuales	Deteccio	RPN	Frecuencia de ocurrencia
2.6	Absorber partículas de oxígeno de la cámara de vacío en la extrusora a una depresión entre 25-29 mmHg	2.6.1	Vacío por debajo de 25mmHG	2.6.1.A	Obturacion de ductos y perdida de aceite	Parada de sistema y baja productividad, baja resistencia mecánica en ladrillos	7	2.6.1.A1	Líneas se llenan de material	6	Se limpian cada ves que se obstruye	7	294	Cada 2 meses
2.6							7	2.6.1.A2	Niveles bajos de aceite	6	Se rellena	5	210	Cada 2 meses
2.6							7	2.6.2.A3	Pérdida de hermeticidad en cámara de vacio de extrusora	5	Cambio de sellos internos de camara	5	175	1 vez por año
2.7	Dar forma geométrica a los diferentes productos según los estándares de la NTP	2.7.1	Productos son extruidos fuera de los estándares (alabeo, asimetría y sobrepeso	2.7.1.A	Fabricacion defectuosa de moldes	Paradas del sistema por ajustes y regulaciones, material defectuoso, causa pérdidas económicas.	7	2.7.1.A1	Falta de capacitación a personal	6	Se capacita muy poco	6	252	-
							7	2.7.1.A2	Falta de apoyo técnico al area de moldes	7	Ninguno	6	294	-

Fuente: propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Horno y prehorno	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0009
			Pagina 9 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrenci	Acciones actuales	Deteccion	RPN	Frecuencia de ocurrencia
3.1	Succionar aire caliente de bóveda de horno (techo estándar y techo refractario) para el enfriamiento y evite deformación de estructuras.	3.1.1	Paradas imprevistas de los ventiladores	3.1.1.A	Falla en el sistema eléctrico de control	Sobrecalentamiento de estructuras de techo horno	6	3.1.1.A1	Falso contacto en sistema de control	6	Ninguno	5	180	Cada 2 meses
3.1							6	3.1.1.A2	Deterioro del sistema de arranque	6	Ninguno	5	180	Cada 2 meses
3.2	Preparar el material que ingresa al horno a una temperatura de 650°C, es vital para el proceso térmico y mantener las propiedades de los productos	3.2.1	No llega a las temperaturas del set-point 650°C	3.2.1.A	Falla en los quemadores de GNC	No prepara adecuadamente al material en proceso y baja eficiencia de combustión.	7	3.2.1.A1	Quemadores obstruidos por material carbonizado	5	Limpieza esporádica	3	105	Cada 6 meses
3.2							9	3.2.1.A2	Electrodos con presencia de suciedad	10	Limpieza esporádica	3	270	Cada 3 dias

Fuente: propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricacion de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Horno y prehorno	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0010
			Pagina 10 de 11

Proceso del AMEF

Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funsional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrencia	Acciones actuales	Detección	RPN	Frecuencia de ocurrencia
3.3	Inyección de combustible alterno (R-500) para cocción del material ingresado al horno	3.3.1	Se perturba la inyección y bajas temperaturas	3.3.1.A	Falla en los inyectores	Bajas temperaturas en el proceso perdiendo eficiencia	7	3.3.1.A1	Filtros con exceso de suciedad	5	Limpieza esporádica	6	210	Cada ves que se enciende equipos
3.3							7	3.1.1.A2	Sisetma de calefacción deteriorado	5	Ninguno	5	175	
3.4	Alimentar al pre-horno con coches llenos que vienen del apilado	3.4.1	No alimenta adecuadamente al prehorno por paradas subitas	3.4.1.A	Falla en los mecanismos	Desabastece al horno porque depende del buen funcionamiento del prehorno	6	3.4.1.A1	Roturas de pernos en mecanismos	7	Se cambia	5	210	Cada 15 dias
3.4							6	3.4.1.A2	Roturas de rodajes y guias de estructura (jalador)	5	Se cambia cuando esta destruido	7	210	Cada 4 meses

Fuente: propia (2019)

Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Proceso:	Fabricación de ladrillos cerámicos	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Sistema:	Horno y pre-horno – Energia electrica	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0011
			Pagina 11 de 11

Proceso del AMEF

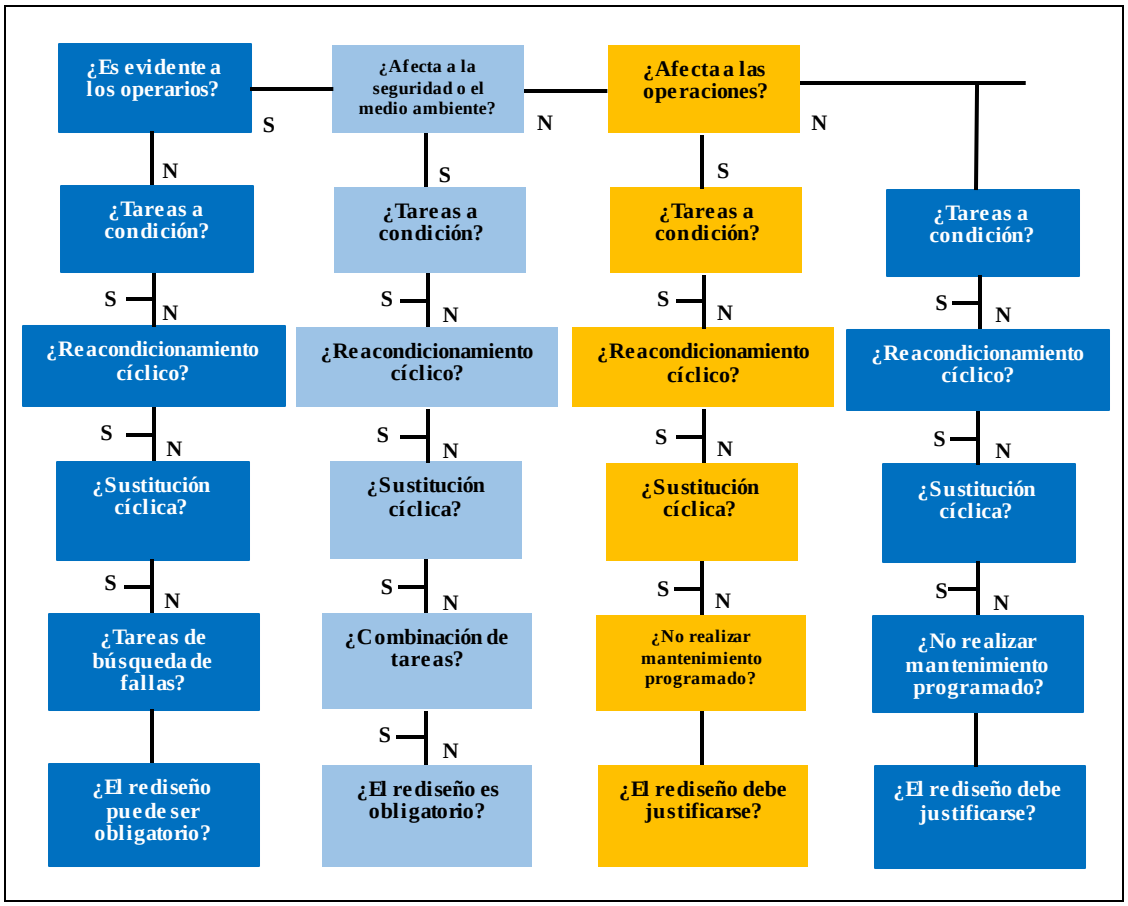
Item	Funcion estandard	#F.F	Falla Funcional	#	Potencial modo de falla	Potencial efecto de falla	Severidad	#	Potencial causa de falla	Ocurrencia	Acciones actuales	Detección	RPN	Frecuencia de ocurrencia
3.5	Mantener el horno en hermeticidad durante el proceso, abrir cuando se ingresa vagones al horno	3.5.1	No hermetiza pre-camara de entrada horno	3.5.1	Deterioro de estructuras	Pérdida de eficiencia al sistema termico del horno	6	3.5.1.A1	Oxidacion de marcos y deteriroro de jebes (sellos)	3	Ninguno	7	126	Cada 2 años
3.5		3.5.2	No abre puerta cuando tiene que hacerlo	3.5.2.A	Falla en el sistema de control	Rerasa el ingreso de vagones al horno	6	3.5.1.A1	Fin de carreras y sensor de precamara dan mala lectura	7	Ninguno	3	126	2 veces por mes
3.6	Movimentar vagones llenos de pre-horno hacia horno.	3.6.1	No movimenta adecuadamente los vagones de horno	3.6.1.A	Falla en el sistema de control	Rerasa el ingreso de vagones al horno	4	3.6.1.A1	Sensores no detectan el vagon	8	Se cambia posicion manual	3	96	1 vez por semana
3.6							4	3.6.1.A2	Sensor de posicionador de vagon se descalibra	8	Se cambia posicion manual	3	96	1 vez por semana
	Sisetma de utilizacion 10KV													
4.1	Alimentación de energía eléctrica a planta en 10KV	4.1.1	Cortes de fluido eléctrico inesperadamente.	4.1.1.A	Falla en el sistema principal	Parada de produccion	9	4.1.1.A1	Corte de energía en el alimentador de consecionario	5	Ninguno	2	90	4 veces al año

Fuente: propia (2019)

3.3.4 Árbol de decisiones

El propósito del árbol de decisiones es priorizar con más énfasis los recursos que deben dedicarse a cada modo de falla y evitar tener programas de mantenimientos ineficaces que nos generan más problemas.

Tabla 37:*Arbol de decisiones*.



Fuente: Salazar (2009)

3.3.5 Selección de tareas

Son para reducir o eliminar el riesgo asociado con la causa potencial las acciones recomendadas deben considerar los controles existentes, la importancia dando prioridad a cada modo de falla, costo y efectividad de la acción correctiva, puede haber muchas acciones recomendadas para cada causa. Las tareas son nuevas para cada vez que se realiza un AMEF tomando las opiniones de los expertos acordando las reglas y suposiciones básicas y recogiendo la información relevante de cada causa de fallas.

Tabla 38. *Selección de tareas según árbol de decisiones del RCM*

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema:	Molienda	Facilitad- del AMEF	Ruben Martinez
Subsistema:	Molino secundario	Fecha del AMEF:	12-05-19
Equipo del AMEF:	M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona	Numero del AMEF:	F-0001
			Pagina 1 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Tecnica según el arbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
1	Parrillas de impacto	1.1.1.A	Falla en parillas	1.1.1.A	Ingreso de materiales extras a los del proceso, occionan abertura de parillas.	7	7	7	343	Tareas a condicion (predictivo)	Inspeccion de electroimán	Cada 2 dias	Operarios	Realizar al fin de turno
2	Martillos de impacto	1.1.2.B	Falla en los martillos	1.1.2.B1	Ingreso de objetos metalicos	10	5	7	350	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Limpieza de electroimán	Semanalmente	Operarios	Realizar en parada semanal
3				1.1.2.B2	Falla de material (fundicion)	10	2	9	180	Tareas bisqueda de fallas	Analisis rectivo químico (pedir certificado de calidad a fabrica)	Cada lote adquirido	Fabricante	
4				1.1.2.B3	Falla del manenimiento preventivo (ajuste, cambios)	10	2	7	280	Tareas bisqueda de fallas	Implementar procedimientos y supervision mas rigurosa		Mecanico /soldadores	

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Molienda
Subsistema: Molino secundario
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona

Facilitad- del AMEF Ruben Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0002
Pagina 2 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Tecnica según el arbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
5	Parrillas de impacto	1.1.3.A	Falla en parillas de impacto	1.1.3.A1	Ingreso de material húmedo	7	4	7	196	Tareas a condición (predictivo)	Inspeccionar materia prima y seleccionar material adecuado	Cada cambio esatciones (invierno)	Operarios de cargador frontal	
6	Guardas de protección	1.1.4.A	Falla de guardas	1.1.4.A1	Guardas con desgaste	3	9	6	162	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Inspeccionar y reconstruir guardas si fuese nesesario	Semestral	Soldadores	

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Extrusora Bongioanni
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona

Facilitad- del AMEF Ruben Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0003
Pagina 3 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Tecnica según el arbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
7	Motorreductores de aspas de arastre	2.1.1.A	Paradas imprevistas de motorreductores de aspas (2 unid)	2.1.1.A	Subdimensionamiento de motorreductor para operaciones con diferentes formatos	8	6	9	432	Rediseño	Ralizar un analisis de torque en los eje a plena carga y rediseñar sistema	-	Con terceros	Exceso de costo en reparación
8						8	10	5	400	Tareas a condición (predictivo)	Hacer instructivo de operación	-	Mantenimiento	Exceso de parads por dia 5 a 6 veces
9	Desgasificador	2.1.2.B	Sobrecarga de motor eléctrico	2.1.2B1	Ingreso de material con mayor densidad porque se recupera material desechado y se vuelve a extruir	7	10	5	350	Tareas a condición (predictivo)	Hacer una matriz de carga o un algoritmo de control, para mitigar la sobrecarga	-	Electricitas	Control electrico o PLC
10				2.1.2.B2	Mala operación	7	10	6	420	-	Capacitación al personal operario	Cada 6 meses	Senati, u otra institucion	Capacitar de acuerdo a su vocación

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Cortadora Multiple T&D
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona

Facilitad- del AMEF Ruben Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0004
Pagina 4 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Tecnica según el arbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
11	Pinza de corte	2.2.1.A	Falla de pinzas de corte	2.2.1.A	Mala instalacion de de pinzas cuando se cambia formato	6	6	7	252	-	Supervision e implementar instructivo	Diario	Jefe de turno	Debe supervisar jefe de turno
12				2.2.1.A2	Mala instalacion de los alambre de corte	6	5	6	180	-	Supervision más rigurosa	Diario	Jefe de turno	Debe supervisar jefe de turno
13				2.2.1.A3	Rotura de pernos de sujeción	6	6	3	108	Sustitucion ciclica (preventivo)	Cambio de pernos fatigados	Cada 02 meses	Mecanicos	
14	Sensores			2.2.1.A4	Mala calibracion de sensores	6	9	2	108	Rediseño	Rediseñar sistema de control		Electricistas	Por execivas paradas

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Cortadora Multiple T&D
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona

Facilitad- del AMEF Ruben Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0005
Pagina 5 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Tecnica según el arbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
14	Cadenas de transmisión	2.2.2.A	Fallas el sistema de transmisión.	2.2.2.A	Desgaste de cadenas y piñones	7	6	6	252	Sustitución cíclica (preventivo)	Cambiar piñones y cadenas cada 6 meses	Cada 6 meses	Mecánicos	
15	Cadenas de transmisión			2.2.2.A2	Rotura de pernos en guías	7	5	5	175	Sustitución cíclica (preventivo)	Cambiar pernos	Cada 6 meses	Mecánicos	
16	Guias de cadenas			2.2.2.A3	Desgaste de guías en transmisión mecánica	7	6	6	252	Sustitución ciclica (preventivo)	Cambiar guias deterioradas	Cada 06 meses	Mecánicos	
17	Mesa de corte	2.2.3.A	Fallas en mesa de corte y compuerta de descarte	2.2.3.A1	Deformación de rodillos de mesa de corte	7	6	4	168	Rediseño	Rediseñar mecanismo de sujecion y guias de pinzas de corte	Inmediato	Mecánicos	Pinza choca con rodillos
18	Mesa de descarte			2.2.3.A2	Avería de mesa descarte	7	6	6	252	Rediseño	Rediseñar equipo	Inmediato	Mecánicos	Ocacionan paradas imprevistas

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Cortadora Multiple T&D
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona

Facilitad- del AMEF Ruben Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0006
Pagina 6 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Tecnica según el arbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
19	Cadenas de transmisión	2.2.2.A	Fallas el sistema de transmisión.	2.2.2.A	Desgaste de cadenas y piñones	7	6	6	252	Sustitución cíclica (preventivo)	Cambiar piñones y cadenas cada 6 meses	Cada 6 meses	Mecánicos	
20	Cadenas de transmisión			2.2.2.A2	Rotura de pernos en guías	7	5	5	175	Sustitución cíclica (preventivo)	Cambiar pernos	Cada 6 meses	Mecánicos	
21	Guias de cadenas			2.2.2.A3	Desgaste de guías en transmisión mecánica	7	6	6	252	Sustitución ciclica (preventivo)	Cambiar guias deterioradas	Cada 03 meses	Mecánicos	
22	Mesa de corte	2.2.3.A	Fallas en mesa de corte y compuerta de descarte	2.2.3.A1	Deformación de rodillos de mesa de corte	7	6	4	168	Rediseño	Rediseñar mecanismo de sujecion y guias de pinzas de corte	Inmediato	Mecánicos	Pinza choca con rodillos
23	Mesa de descarte			2.2.3.A2	Avería de mesa descarte	7	6	6	252	Rediseño	Rediseñar equipo	Inmediato	Mecánicos	Ocacionan paradas imprevistas

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Fajas de retorno
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona

Facilitad- del AMEF Ruben Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0007
Pagina 7 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Técnica según el árbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
24	Chutes	2.3.1.A	Fallas de polines por atascamiento.	2.3.1.A	Ingreso de material excedente sobre estructura de fajas	7	10	6	420	Rediseño	Rediseñar chutes de descarga	-	Soldadores	
25	Guardas			2.3.1.A2	Mal diseño de guardas	7	5	6	210	Rediseño	Rediseñar guardas de protección	-	Soldadores	
26	Guardas			2.3.1.A3	Guardas averiadas	7	10	6	420	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Reparar guardas averiadas	Cada año	Soldadores	
27	Polin conductor	2.3.2.A	Falla alineamiento	2.3.2.A1	Llenado de material en polín conductor y conducido	7	7	5	245	No programado (correctivo)	Reparacion inmediata de guardas	Inmediato	Mecánicos	Pinza choca con rodillos
27	Estructura general			2.3.2.A2	Falta de limpíeza e inspección	7	7	2	48	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Realizar orden y limpieza	Semanal	Operarios/ Mecánicos	Ocacionan paradas imprevistas

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Automatismo de carga #02
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M. Ballona

Facilitad- del AMEF Rubén Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0008
Pagina 8 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Técnica según el árbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
28	PLC	2.4.1.	Falla de programacion .	2.4.1.A1	Programación de secuencias algorítmica defectuosa.	7	9	2	126	Rediseño	Modificar algoritmo de control en PLC	-	Electricista	
29	Sensores			2.4.1.A2	Mal ajuste de posición de sensores.	7	8	2	112	Rediseño	Modificas logica de control	-	Electricista	
30	Estructura general	2.4.2.A	Desgaste de mecanismos	2.4.2.A1	Oxidación de mecanismos	7	5	6	210	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Limpieza de estructuras y pintura de los mismos	Mensual / Anual	Ayudantes mecanicos / pintores	
31	Vagonetas de carga	2.5.1.A	Falla en el control y deterioro de mecanismos	2.5.1.A1	Vagonetas con estanterías deterioradas	7	5	6	210	Predictivo - preventivo	Retirar vagonetas cuando lo requieran según la condición	Condición	Soldadores / mecánicos	
32	Mesa de carga			2.5.1.A2	Mesa de carga de elevador presenta deterioro	7	5	6	210	predictivo-preventivo	Reparar mesa según la condicion	Condicion	Operarios/ Mecánicos	
33	Centrador de vagonetas			2.5.1.A3	Centrador de vagoentas con guias desgastadas	7	5	4	140	Preventivo	Cambiar guías de centrador	A vez por año	Soldadores	

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Bomba de vacío - Moldes
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M.ballona

Facilitad- del AMEF Rubén Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0009
Pagina 9 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Técnica según el árbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
34	Ductos	2.6.1.A	Obturación de ductos y pérdida de aceite	2.6.1.A1	Líneas se llenan de material	7	6	7	294	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Limpiar filtro y lineas de vacío	6 mese / 2 meses	Mecánicos	Desmontar linea si fuese nescesario
35	Tanque de aceite			2.6.1.A2	Niveles bajos de aceite	7	6	5	210	Tareas a condición (predictivo)	Monitoreo de aceite, e implementar instructivo	Semanal	Operarios / ayudante mecánico	
36	Camara de extrusión (Bongioanni)			2.6.2.A3	Pérdida de hermeticidad en cámara de vacio de extrusora	7	5	5	175	Tareas a condición (predictivo)	Monitoreo de nivel aceite en visor, Cambiar sellos de camara según la condición	Semanal	Operarios /mecánicos	
37	Moldes	2.7.1.A	Fabricación defectuosa de moldes	2.7.1.A1	Falta de capacitación a personal	7	6	6	252	-	Capacitar al personal	Cada 6 meses	Externos	
38				2.7.1.A2	Falta de apoyo técnico al area de moldes	7	7	6	294	-	Brindar apoyo técnico al área	Mensual	Ingeniería interna	

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Enfriamiento de bóbeda / Equipos JOLLY GNC
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M.ballona

Facilitad- del AMEF Rubén Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0010
Pagina 10 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Técnica según el árbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
39	Circuito de control	3.1.1.A	Falla en el sistema eléctrico de control	3.1.1.A1	Falso contacto en sistema de control	6	6	5	180	Combinacion de tareas	Inspeccionar y/o cambiar contactos desteriorados de pulsadores arranque	Inmediato	Electricistas	
40	Circuto de potencia			3.1.1.A2	Deterioro del sistema de arranque	6	6	5	180	Tareas a condición (predictivo)	Inspeccion de elementos de arranque del circuiti de potencia	Mensual	Electricistas	
41	Lanzallama	3.2.1.A	Falla en los quemadores de GNC	3.2.1.A1	Quemadores obstruidos por material carbonizado	7	5	3	105	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Limpieza e inspeccion total de quemadores	Cada 6 meses	Mecanicos / electricistas	
42	Cabezal de inyección GNC			3.2.1.A2	Electrodos con presencia de suciedad	9	10	3	270	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Limpieza de electrodos y cabezal de inyector	Cada 2 meses	Operadores / Electricistas	

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Equipos R-500 / Jalador pre-horno
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M.ballona

Facilitad- del AMEF Rubén Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0011
Pagina 11 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Técnica según el árbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
43	Filtros de inyeccion	3.3.1.A	Falla en los inyectores	3.3.1.A1	Filtros con exceso de suciedad	7	5	6	210	Tareas a condición (predictivo)	Limpieza de filtros autolimpiantes	Según condición	Mecánicos	Se obstruye toberas
44	Resistencias calefactoras			3.1.1.A2	Sisetma de calefacción deteriorado	7	5	5	175	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Revisión de resistencias	1 vez por año	Electricistas	R-500 se enfria durante proceso
45	Riel jalador	3.4.1.A	Falla en los mecanismos	3.4.1.A1	Roturas de pernos en mecanismos	6	7	5	210	Rediseño	Rediseñar sistema de tracción	Inmediato	Mecánicos	Se rompen pernos cada 15 días
46	Guías y rodajes			3.4.1.A2	Roturas de rodajes y guías de estructura (jalador)	6	5	7	210	Sustitución cíclica (preventivo)	Cambiar rodajes y guías según condición	Cada 3 años	Mecánicos	

Fuente: propia (2019)

SELECCIÓN DE TAREAS SEGÚN ÁRBOL DE DECISIONES DEL RCM

Sistema: Formado
Subsistema: Puertas / transbordador entrada
Equipo del AMEF: M. Benites, R. Martinez, G. Acuña, M. Reyes, M.ballona

Facilitad- del AMEF Rubén Martinez
Fecha del AMEF: 12-05-19
Numero del AMEF: F-0012
Pagina 12 de 12

Item	Equipo y componentes	#	Potencial modo de falla	#	Potencial causa de falla	S	O	D	RPN	Técnica según el árbol del RCM	Tarea o actividad propuesta	Frecuencia	Personal	Comentario
47	Estructura metálica y sellos	3.5.1.A	Deterioro de estructuras	3.5.1.A1	Oxidación de marcos y deteriroro de jebes (sellos)	6	3	7	126	Reacondicionamiento cíclico (preventivo)	Pintura de estructuras y revision mecánica	Cada año	Pintor / Mecánicos	
48	Sensores de precámara	3.5.2.A	Falla en el sistema de control	3.5.1.A1	Fin de carreras y sensor de precámara dan mala lectura	6	7	3	126	Combinación de tareas	Inspección de sensores, cambiar si lo requiere	Semestral	Electricistas	
49	Sensores presencia de coches	3.6.1.A	Falla en el sistema de control	3.6.1.A1	Sensores no detectan el vagón	4	8	3	96	Combinación de tareas	Inspección de sensores, cambiar si lo requiere	Semestral	Electricistas	
50	Sensores de posicionador			3.6.1.A2	Sensor de posicionador de vagón se descalibra	4	8	3	96	Combinación de tareas	Inspección de sensores, cambiar si lo requiere	Semestral	Electricistas	
	Sisetma de utilizacion 10KV													
51	Línea 10 KV	4.1.1.A	Cortes de energía	4.1.1.A1	Corte de energía en el alimentador de consecionario ENSA	9	5	2	90	-	-	-	-	-

Fuente: propia (2019)

3.3.6 Control de mantenimiento y CMMS

El control de mantenimiento se realiza en base a la actividad de mantenimiento que se realiza en diferentes sistemas, sin embargo, uno de los principales aspectos transversales que lo hace sostenible son las órdenes de trabajo, las (OT) son una fuente de datos valiosos para RCM y otros mantenimientos herramientas y procesos porque la información extraída de las órdenes de trabajo sirve para la mejora de la fiabilidad y el análisis de activos críticos, los momentos más importantes en su control es su cierre de la orden. El control de mantenimiento se logra a través de muchos aspectos, sin embargo, los key performance indicator KPI son la guía más importante para acompañar el desempeño del área de mantenimiento.

La actividad de mantenimiento en todo su alcance es muy compleja, debido a la diversidad de temas que la constituyen y también a la combinación de ellos, con la llegada de los sistemas de información, muchos aspectos de las actividades de mantenimiento han cambiado como los sistemas integrados para la gestión del mantenimiento GMAO, también llamados computerized maintenance management system CMMS.

Hoy en día hay muchas opciones para implementar un CMMS. Sin embargo, la tendencia es usar la nube para alojar el programa y los datos, solo con una computadora personal, tableta y / o teléfono inteligente se puede acceder al sistema y monitorear, planificar hasta reportar información de retroalimentación.

3.3.6.1 Integración de software para nuestro caso de estudio

Para tener mejor control de la información del mantenimiento se propone usar un sistema computarizado denominado MP Software V.9 (MP9), es muy útil usar un CMMS porque ayudaría a controlar y monitorear la fiabilidad de los equipos, por temas de costos se recomienda iniciar con una versión profesional monousuario que aborda un costo de $3500.00 + IGV, el software propuesto tiene las siguientes características.

- Localizaciones de sistemas y subsistemas.
- Catálogo de equipos y componentes.
- Catálogo y Mano de Obra.
- Control de herramientas
- Ordenes de Trabajo

3.3.6.2 Presentación del MP9

- **Creación de base de datos.**

Se inicia con la creación de una base de datos donde se puede administrar la información de manera independiente con diferentes usuarios protegidos con una contraseña.

Figura 18. Presentación de base de datos MP9

Fuente: Software MP9 (2019)

- **Localización de los sistemas y subsistemas**

La localización de los sistemas y subsistemas se cargan en este apartado del software, se puede anexar el layout de cada sistema que se encuentran en diferentes áreas de planta.

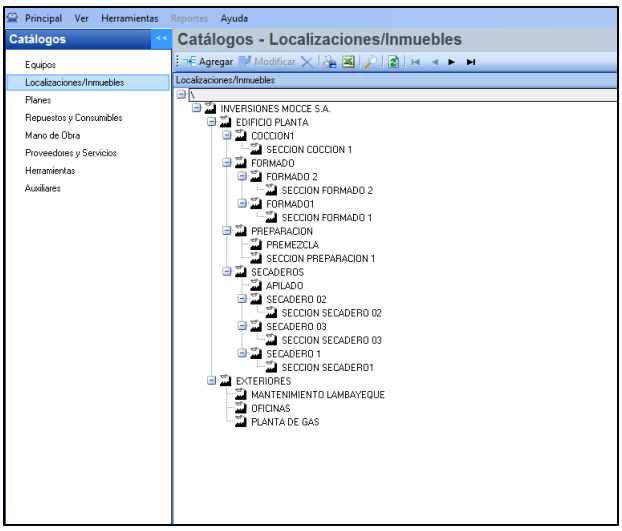


Figura 19. Localización de sistemas y subsistemas

Fuente: Software MP9 (2019)

- **Creación de catálogo-equipos**

En esta etapa se cargan los datos de los equipos como, nombre, modelo, marca, serie, código, localización y la criticidad de acuerdo al análisis del RCM que se realizó previamente.

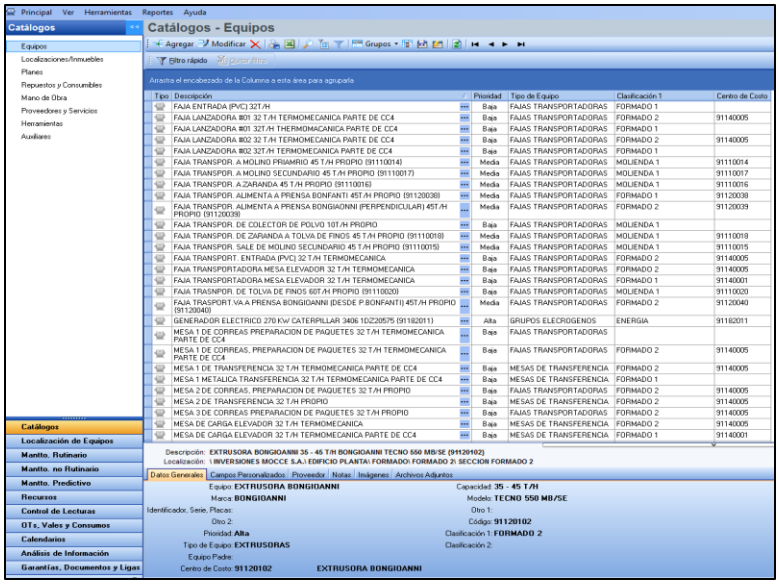


Figura 20. Catálogo de equipos

Fuente: Software MP9 (2019)

- **Catálogo de proveedores y servicios**

También se puede ingresar los proveedores con los cuales se trabajará para el abastecimiento de repuestos, servicios de trabajos externos, compras de equipos y herramientas.

- **Catálogo de herramientas**

El MP software incluye una plataforma de control de herramientas para realizar las actividades de mantenimiento, donde se describe sus características y su sistema de control.

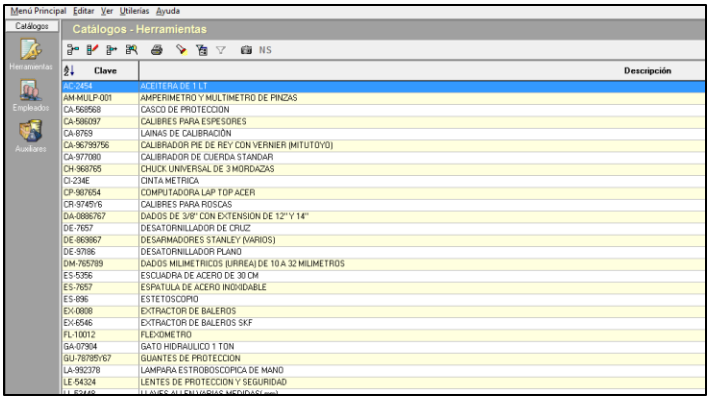


Figura 21. Control de herramientas

Fuente: Software MP9 (2019)

- **Planes de mantenimiento**

En esta sección del software se generan los planes de mantenimiento según los criterios del árbol de decisiones del RCM, aquí se asignan las actividades de mantenimiento con frecuencias, personal y el tiempo de ejecución (anexos planeación de mantenimiento).

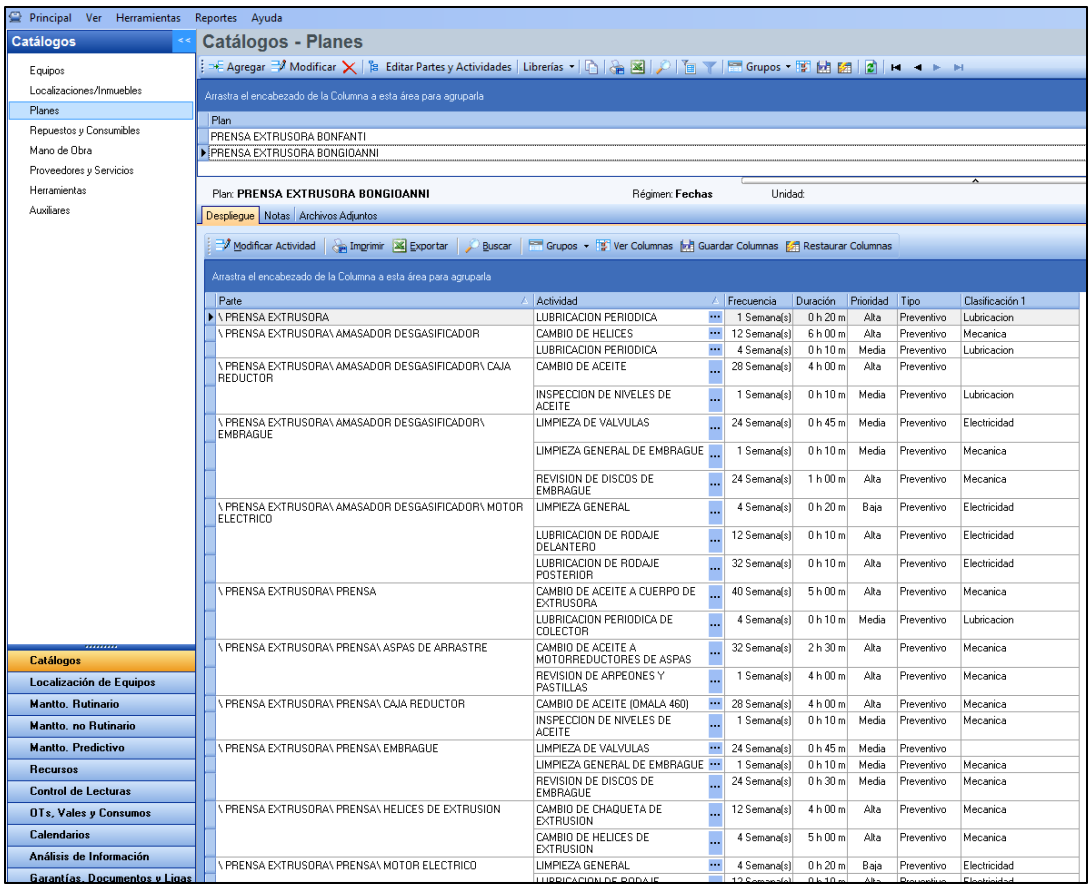


Figura 22. Planeación del mantenimiento

Fuente: Software MP9 (2019)

- **Mano de obra.**

En esta sección se ingresa todo el personal del área de mantenimiento según sus especialidades, cargos y costo de mano de obra, esto sirve para calcular el costo de horas hombre para cada actividad de mantenimiento.

- **Calendarización de planes de mantenimiento.**

La calendarización es vital para el buen desempeño del mantenimiento, el MP9 tiene la capacidad de calendarizar todas las actividades de mantenimiento diario, semanal, mensual y anual, previamente programadas mediante frecuencias de cada activo.

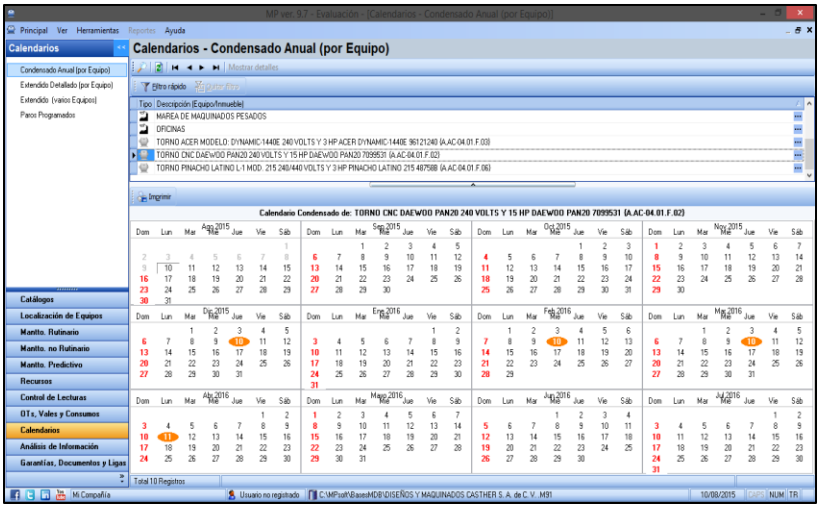


Figura 23. Calendarización anual del mantenimiento

Fuente: Software MP9 (2019)

3.3.7 Capacitaciones al personal técnico y operario

Es necesario la capacitación del personal para poder aprovechar al máximo sus capacidades y habilidades, en las encuestas realizadas se observó que gran parte del personal operario el 66% no posee un estudio técnico, para mejorar esto se propone las capacitaciones, esto nos permitirá tener una mejor operación y mantenimiento de las maquinas aumentando la disponibilidad porque se registrará menos paradas, si lo hubiera estas se pueden solucionar en tiempos muy cortos porque el personal estará capacitado para resolver fallas menores, que pueden ser ajustes, alineamientos o cambios primarios de equipos como rodajes, pernos, seguros y lubricación. En la siguiente tabla se detalla a quien se debe capacitar.

Tabla 39. *Personal que se capacitará con instituciones externos*

Capacitaciones externas			
Cant	Recursos	Materia	# horas del curso
Mantenimiento			
2	Encargados de mantenimiento	Gestión de mantenimiento	250
1	Mecánico de mantenimiento	Mecánica y ajuste	250
1	Mecánico automotriz	Mecatrónica automotriz	250
2	Electricista	Automatización industrial	250
2	Soldador	Soldadura	250
Producción			
2	Operador de formado	Mecánica	180
2	Operador de molienda	Mecánica	180
2	Operador de secadero	Mecánica	180
2	Operador de descargador	Electricidad	180
2	Operador de Robot	Mecatrónica/ electricidad	180
2	Operador de horno	Electricidad	180

Fuente: Propia

Otra técnica económica y de mucho valor es, usar recursos propios, seleccionar un grupo de técnicos con alta experiencia en diferentes materias para dar capacitaciones técnicas estas pueden ser teóricas y prácticas directamente del campo para estar más cerca de lo real, dando a conocer modos de fallos comunes de cada máquina, esto ayudará a prevenir fallos funcionales que terminan ocasionando paradas imprevistas hasta una pérdida total de la funcionalidad (equipo dañado).

Tabla 40. *Personal para capacitaciones internas*

Capacitaciones externas			
Cant	Recursos	Materia	#horas
3	Facilitadores	Varios	150
Mantenimiento			
4	Ayudantes mecánica	Mantenimiento de máquinas	50
2	Electricistas II	Electricidad/automatización	50
3	Ayudantes soldadura	Mantenimiento de máquinas	50
Producción			
2	Operador de formado	Mecánica /Electroneumática	50
2	Operador de Automatismos	Automatización industrial	50
2	Operador de molienda	Mecánica /Electroneumática	50
6	Operador de secadero	Mecánica/electricidad	50
6	Operador de descargador	Mecánica/electricidad	50
3	Operador de Robot	Electricidad/ electroneumática	50
3	Ayudante operación formado	Electricidad/Mecánica	50

Fuente: Propia

Las instituciones que capacitaran al personal tendrán que ser SENATI, TECSUP u otra institución que tenga la certificación de las materias solicitadas.

3.3.8 Análisis de vida útil de extrusora Tecno 550 con distribución Weibull.

Para efectuar el análisis debemos definir el modelo a utilizarse, para este caso usaremos el modelo de Weibull graficado una curva de tasas de falla, ya que las características que posee nos permitirán describir el tipo de comportamiento de las fallas en el tiempo, para nuestro caso estudiaremos una muestra diaria y una por 10 meses, las paradas son un promedio de 10 veces por día estas paradas son por periodos muy cortos, pero perjudican a la producción y a los componentes del subsistema.

Tabla 41. *Tasa de fallas y confiabilidad por día del subsistema a rediseñar.*

				TASA DEFALLAS	CONFIABILIDAD
N	**TBF**	**Ln (TBF)**	**(Ln (TBF)-x)²**	**λ**	**R(t)**
1	0.27	-1.309	2.321	3.70	55.6%
2	0.27	-1.309	2.321	3.70	55.6%
3	0.47	-0.755	0.939	2.13	71.4%
4	0.47	-0.755	0.939	2.13	71.4%
5	2.37	0.863	0.421	0.42	93.5%
6	2.57	0.944	0.533	0.39	94.0%
7	2.62	0.963	0.561	0.38	94.1%
8	2.92	1.072	0.735	0.34	94.7%
9	3.27	1.185	0.942	0.31	95.3%
10	3.47	1.244	1.061	0.29	95.5%

Fuente: Propia

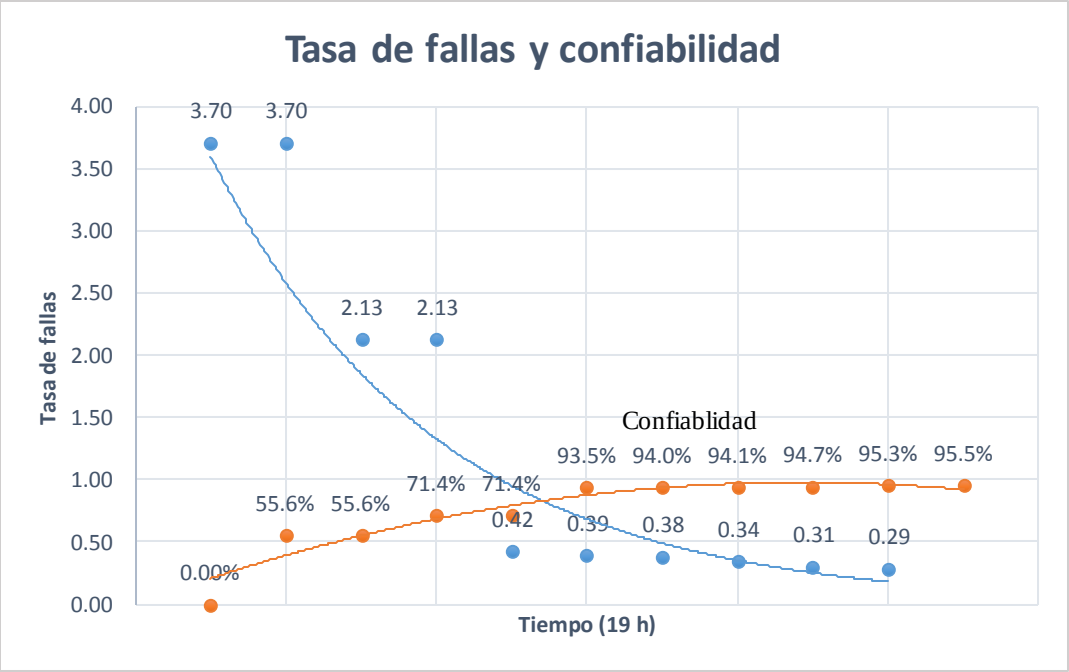


Gráfico 9. Tendencia de tasa de fallas y confiablidad por día

Fuente: Propia

Se realizó un análisis de fallas mayores que involucran paradas de tiempos mayores a 3 horas desde agosto del 2018 hasta el mayo 2019 usando la teoría de la curva de la bañera y se observa que la tasa de fallas se mantiene altas por varios meses y la tendencia a bajar a un régimen normal es muy prolongada.

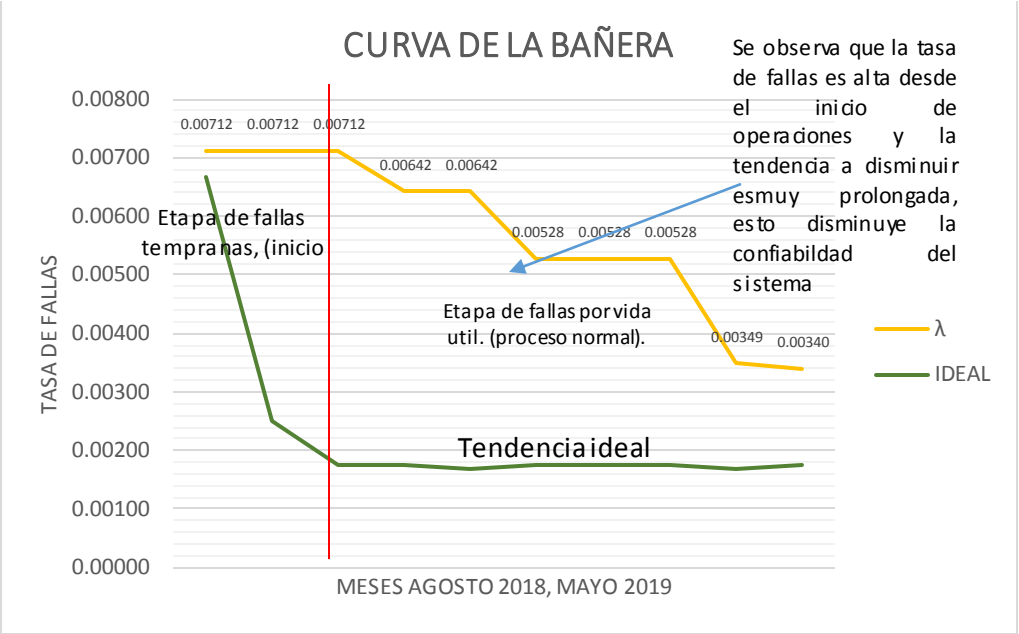


Gráfico 10. Curva de la bañera extrusora Tecno 550

Fuente: Propia

3.3.8.1 Cálculo de probabilidad de fallas de la extrusora Tecno 550

La probabilidad de fallas se calcula con la distribución de Weibull y para nuestro caso de toma datos de fallas en un periodo de 10 meses.

Tabla 42. *Análisis de tasa de fallos extrusora Tecno 550*

AÑO	N	MTBF	Ln (MTBF)	(Ln (TBF)-x)²	λ
2018	1	140.45	4.94485155	0.0897067848	0.00712
	2	140.45	4.94485155	0.0897067848	0.00712
	3	140.45	4.94485155	0.0897067848	0.00712
	4	155.67	5.04771697	0.0386694503	0.00642
	5	155.67	5.04771697	0.0386694503	0.00642
2019	6	189.48	5.24430107	0.0000000038	0.00528
	7	189.48	5.24430107	0.0000000038	0.00528
	8	189.48	5.24430107	0.0000000038	0.00528
	9	286.50	5.65773854	0.1708797780	0.00349
	10	293.71	5.68258721	0.1920409303	0.00340
	11	294.35	5.68476954	0.1939583896	0.00340
Σ			57.6879871	0.903338364	

Fuente: Propia

Cálculo de probabilidad de falla del subsistema en porcentaje a un determinado tiempo con distribución de Weibull.

Media:

$$X = \frac{\sum Ln(MTBF)}{N}$$

$$X = \frac{57.68}{11} = 5.244$$

Varianza S^2

$$S^2 = \frac{1}{(n-1)(\sum \mathrm{Ln}(\mathrm{TN}) - x)^2}$$

$$S^2 = \frac{1}{(11-1)(0.9033383)} = 0.0903$$

Desviación S:

$$S = \sqrt{s^2}$$

$$S = \sqrt{0.0903} = 0.3004$$

Beta:

$$\beta = \frac{\pi}{S * \sqrt{6}}$$

$$\beta = \frac{\pi}{0.3004 * \sqrt{6}} = 4.267$$

e:

$$e = X + \left(\frac{0.5772}{\beta}\right)$$

$$e = 5.244 + \left(\frac{0.5772}{4.267}\right) = 5.379$$

Alfa:

$$\alpha = EXP(e)$$

$$\alpha = EXP(5.379) = 216.940$$

¿Probabilidad de fallas a las 300 horas de trabajo de la extrusora?

$$R(t) = exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]$$

$$R(t) = exp\left[-\left(\frac{300-0}{216.940}\right)^{4.267}\right]$$

$$R(t) = 0.01018$$

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$F(t) = 1 - 0.01018$$

$$F(t) = 0.98x100\%$$

$$\boldsymbol{F(t) = 98\%}$$

- Se determina una probabilidad del 98% que el subsistema falle a las 300 horas de trabajo.

Por lo tanto, se decide hacer un rediseño en esta extrusora para aumentar la confiabilidad e incrementar el MTBF y consecuentemente se incrementará la disponibilidad de todo el sistema de formado.

3.3.9 Solución del subsistema más crítico según RCM

El RCM se caracteriza por hacer un profundo análisis de los sistemas, subsistemas, equipos y componentes, en nuestro caso se detectó un alto índice de fallas en el sistema de formado seguidamente se analizó los subsistemas y se encontró lo siguiente.

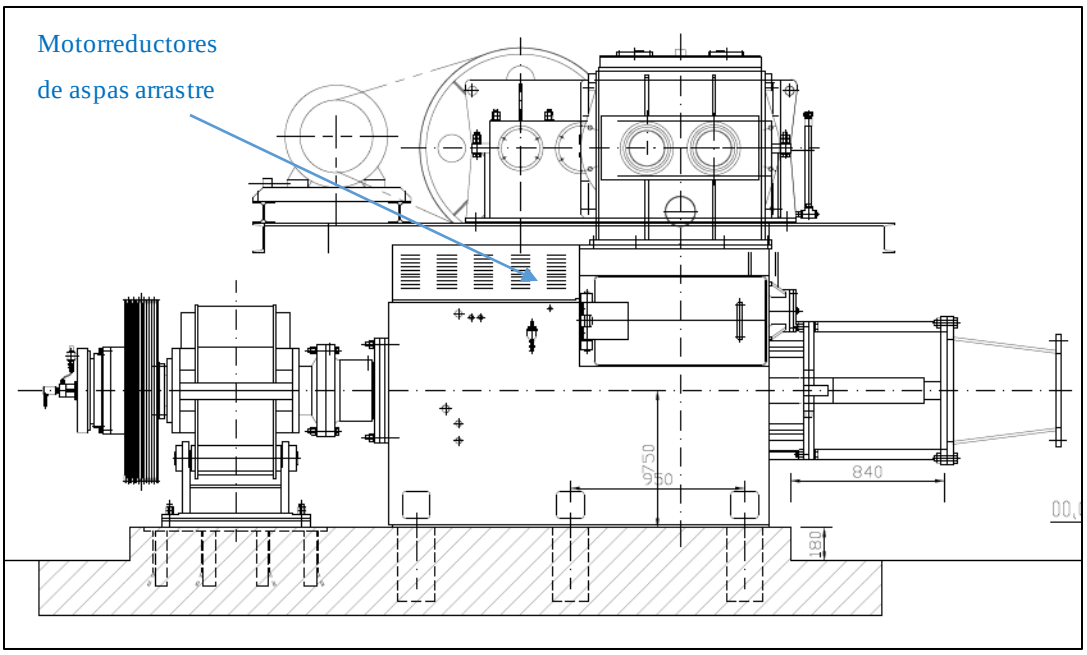


Figura 24. Subsistema con más fallas (extrusora Tecno 550)

Fuente. Inversiones Mocce S.A (2019)

Tabla 43. *Resultado de análisis RCM subsistema crítico extrusora Tecno 550*

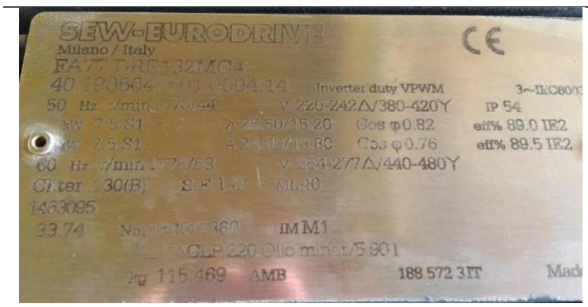
RESULTADOS DEL AMEF, SUBSISTEMA EXTRUSORA BONGIOANNI					
EQUIPOS: Motorreductores de aspas de arrastre					
Falla funcional	**Modo de fallo**	**Causa potencial**	**Acciones actuales**	**Técnica Recomendada según RCM**	**Costo total por pérdida producción y reparación (10 meses)**
Baja productividad por fallas electromecánicas	Se apagan inesperadamente los motorreductores de las aspas	Sub dimensionamiento de motorreductores	Se resetean sistema de protección (diariamente) y se cambia motorreductor cada 6 meses	Rediseño (se justifica)	Perdida producción S/366,255.00
					Reparación S/30,500.00
					S/396,755.00

Fuente. Propia

3.3.9.1 Análisis de torque.

Se iniciará realizado una evaluación actual del equipo, esta evaluación será realizada por una compañía especializada en el rubro de análisis mecánicos y fabricación de motorreductores. Se contrata a SEW EURODRIVE DEL PERU representante de la firma alemana en nuestro país para hacer el análisis de torque en el eje de las aspas de arrastre.

Tabla 44. *Datos de motorreductor de aspas arrastre*

DATOS DE MOTORREDUCTOR		
	Modelo:	FA77DRE132MC4
	Marca:	Sew Eurodrive.
	Rpm entrada:	1775 rpm
	Rpm salida:	53 rpm
	i:	33.4
	Torque:	1360 n/m
	F.S:	1

Fuente. Propia

Figura 25. Personal de Sew Eurodrive analizando equipo

Fuente. Propia

- **Principio de funcionamiento de la técnica aplicada para el análisis del torque**

La técnica está basada en la extensiometría permite medir esfuerzos y determinan las deformaciones superficiales en los ejes de transmisión principal que se deben al torque o fuerza angular, mediante el empleo de galgas extensiométricas adheridas a la superficie de cada eje. Estas galgas son sensores resistivos utilizados en la medición de deformaciones dinámicas, varían su resistencia eléctrica linealmente con las deformaciones que sufre el eje en su topología superficial, estas galgas son excitadas con una tensión estable y conocida y

se mide la corriente eléctrica circulante, con esto se establece una relación entre la caída de tensión en la galga extensiométrica y el esfuerzo torsional al que esté siendo sometido el eje analizado.

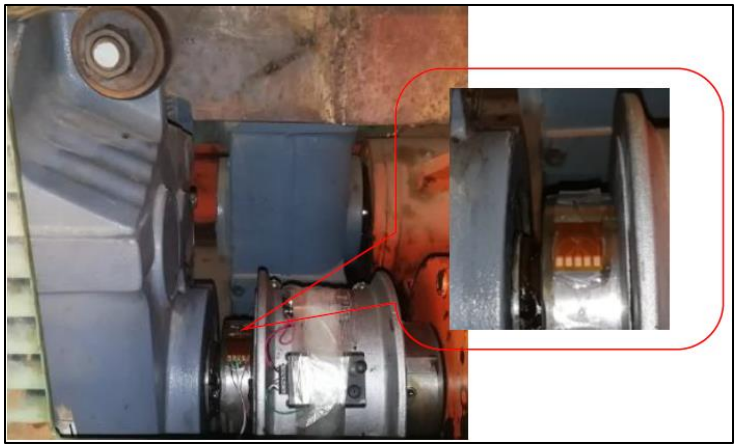


Figura 26. Instalación de sensor TORQUE TRAK 10K + OP-TORK FIELD TEST

Fuente. Sew Eurodrive (2019)

- **Datos obtenidos de la medición**

Se registró la medición durante 1 hora con una producción de 44 Tn/h. Teniendo en cuenta la carga de operación máxima de diseño según fabricante es 45 Tn/h, por lo que 44 Tn/h es el 98 % de la carga de operación, seguidamente se muestran los resultados adquiridos en una ratio de 20 muestras por segundo.

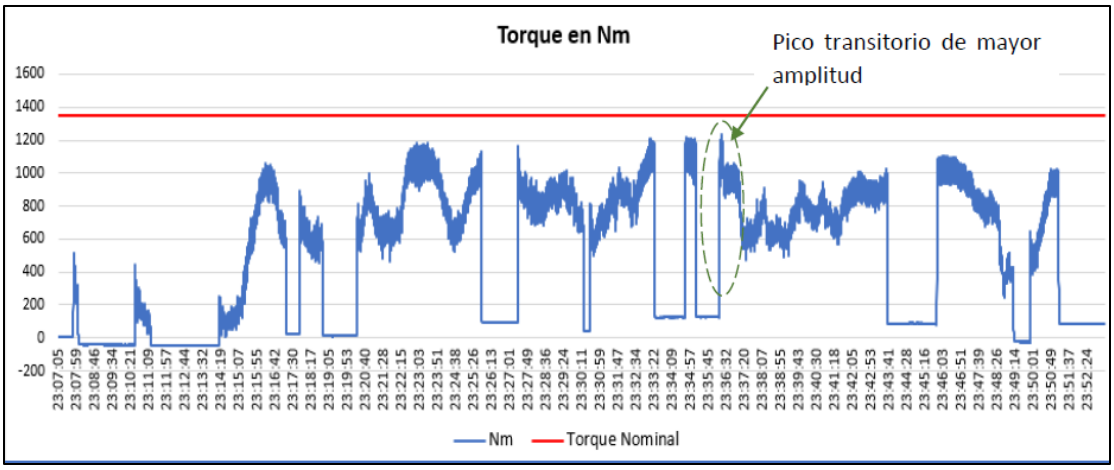


Gráfico 11. Resultados de torque medido en eje de aspas de arrastre

Fuente. Sew Eurodrive (2019)

Según datos de placa el torque nominal 1360 Nm. Se observa en la gráfica que el torque de operación continua está por debajo el torque nominal, en operación normal se producen aproximadamente unos 8 arranques y paradas por hora, que provocan picos transitorios. se registra el de mayor amplitud de 1235 Nm esto representa el 91% del torque nominal.

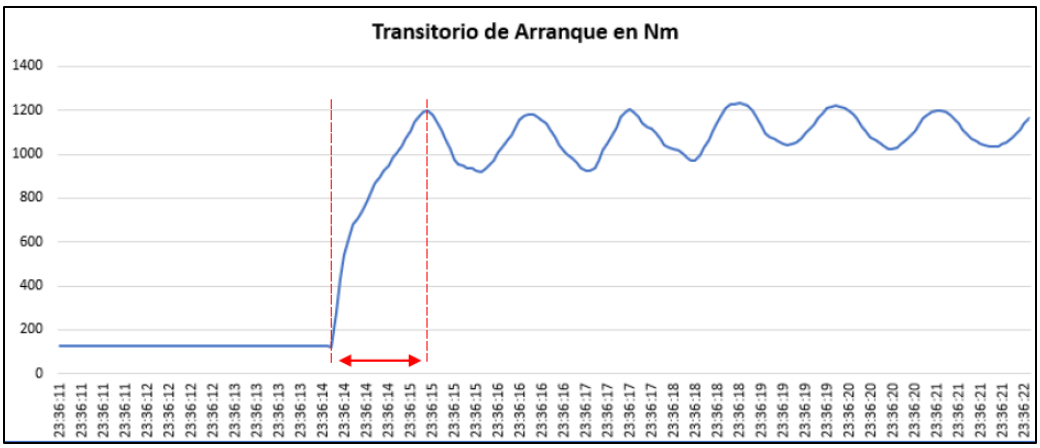


Gráfico 12. Picos transitorios de torque en aspas de arrastre

Fuente. Sew Eurodrive (2019)

El pico transitorio de 1235 Nm se produce en un tiempo menor a 1 segundo, esto se repite para todos los picos transitorios. Los datos de placa indican un factor de servicio igual a 1, sin embargo, según las normas AGMA y normativa SEW EURODRIVE para reductores que trabajan en mezcla de solidos deben ser de mínimo 1.5, este factor de servicio no solo corresponde a posibilidad de sobrecarga, sino también a la fluctuación cíclica y variación desordenada del par trasmitido que es de una aplicación como la de las aspas.

- **Conclusiones de análisis de torque**

- El pico transitorio de 1235 Nm se produce en un tiempo menor a 1 segundo, esto se repite para todos los picos transitorios.
- Los datos de placa indican un factor de servicio igual a 1; como se indicó líneas arriba el par registrado no supero el torque nominal del reductor; sin embargo, según las normas AGMA y normativa SEW EURODRIVE para reductores que trabajan en mezcla de solidos deben ser de 1.5; este factor de servicio no solo corresponde a posibilidad de sobrecarga, sino también a la fluctuación cíclica y variación desordenada del par trasmitido, que es el tipo de comportamiento de la mezcladora de Prensa Bongioanni.
- Se recomienda inicialmente la utilización de un variador de velocidad, configurado con una rampa de arranque adecuada para amortiguar los impactos de carga y migrar a reductores con un factor de servicio mínimo de 1.5

SEW EURODRIVE DEL PERU
Servicio Técnico

Fuente. Sew eurodrive (2019)

3.3.9.2 Cálculo del nuevo accionamiento

Datos iniciales obtenidos del análisis de torque realizado al eje de las aspas de arrastre

Condiciones actuales		Recomendación según análisis
Torque máximo de trabajo:	1235N/m	≤ a 1360 N/M
Potencia de motor eléctrico	7.5KW	Recalcular porque está trabajando al 99%
Factor de servicio;	1	<1.5
Velocidad angular:	53rpm	53rpm
Arranque:	Directo	Variador de frecuencia

- **Cálculo del motor eléctrico**

$$Hm = \frac{Td * Ns}{9549 * n}$$ Ecuación: 14

Leyenda

Hm: Potencia requerida de motor
Td: Torque requerido (1360N/m)
Ns: Velocidad angular de eje aspas (53rpm)
n: Eficiencia del motor (0.85)

La relación de transmisión será

$$i = \frac{1740rpm}{53\text{rpm}} = 32.8$$ Ecuación: 15

$$Hm = \frac{1360N/m * 53rpm}{9549 * 0.85} = 8.88kw$$

Considerando el resultado de 8.88 KW es una potencia no comercial, se determina el inmediato superior 9.2kw equivalente a 12.5hp, tensión de trabajo 440vac y 1740 rpm 4 polos 60hz.

- **Cálculo de reductor**

El reductor será seleccionado observando la norma AGMA (American Gear Manufacturers Association) tomando en cuenta el factor de servicio para la aplicación.

Agitators and mixers	Agitators for liquids	1.00	1.25	1.50
	Agitators for liquids (variable density)	1.20	1.50	1.65
	Agitators for solids (non-uniform material)	1.40	1.60	1.70
	Agitators for solids (uniform material)	-	1.35	1.40
	Concrete mixers	-	1.50	1.50

Teniendo en cuenta la aplicación se aplicará el factor de servicio de 1.5 como se recomendó en el análisis de torque, por lo tanto, se tiene lo siguiente.

Relación de transmisión

$$i = \frac{1740rpm}{53\text{rpm}} = 32.8$$

La potencia mecánica con FS:1.5

$$Pm = 12.5\ hp * 1.5 = 18.5hp \qquad \text{Ecuación: 16}$$

Torque

$$T = \frac{hp * 716}{\text{rpm}} = \frac{18.5hp * 716}{53\text{rpm}} = 249kg.m \qquad \text{Ecuación: 17}$$

$$249.9kg/m = 2450.88N/m$$

- **Selección de motorreductor**

Se calcula un reductor con capacidad máxima de torque de 2450N/m, se observará catálogo de SEW EURODRIVE para seleccionar motorreductor compacto y evitar reducción con mecanismos adicionales. La selección se realiza teniendo como referencia el espacio de la maquina donde se instalará y para ello se observa el catálogo de fabricante, se observa el modelo y el FRAME del equipo para acondicionarlo a la máquina.

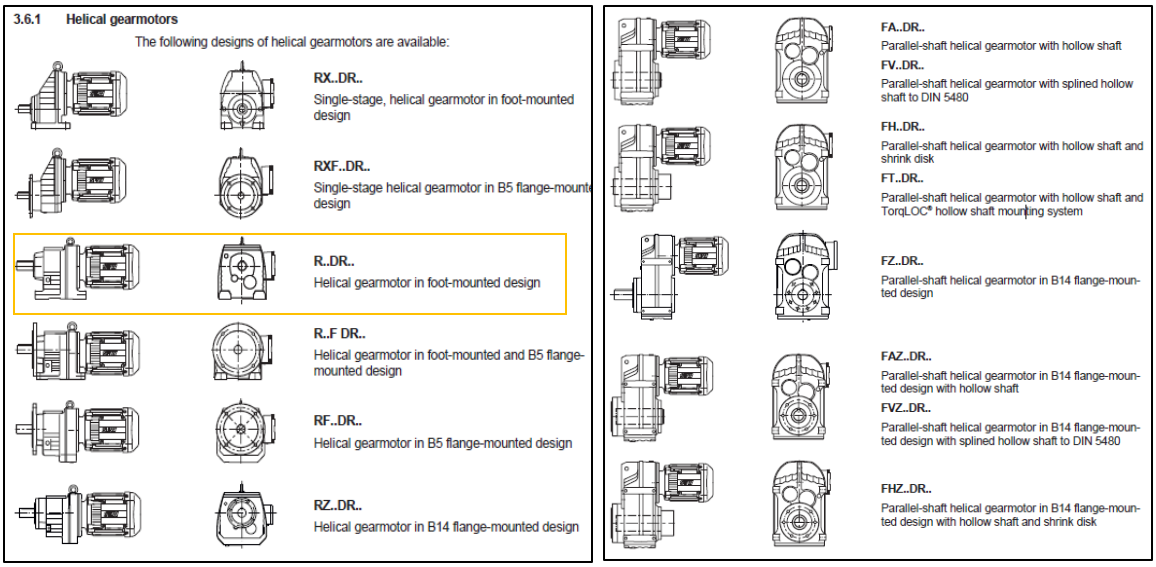
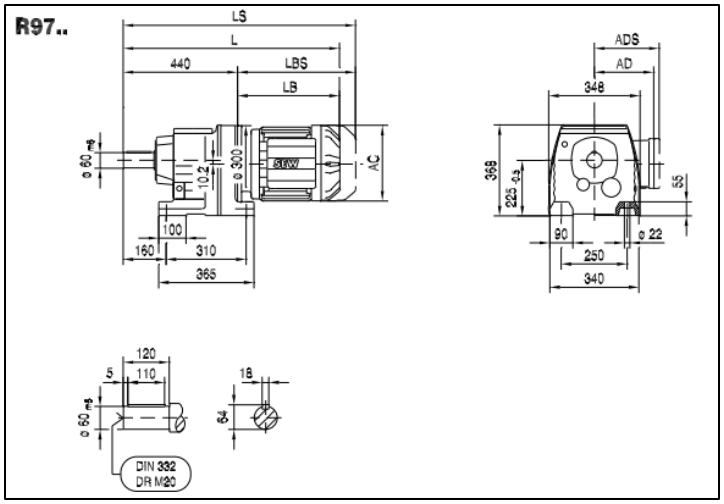


Figura 27. Modelos de motorreductores sew

Fuente: Catalogo motorreductores Sew Eurodrive (2016)

Se selecciona el modelo tipo R97DRS132MC4 de engranajes cilíndricos y paralelos, también se toma en cuenta la comercialización de este equipo y sus repuestos en nuestro país, a continuación, se detalla el FRAME del motorreductor seleccionado.



22742654/EN – 08/2016

(→ 177)	DRN100LS	DRN100L	DRN112M	DRN132S	DRN132M	DRN132L	DRN160M	DRN160L	DRN180..	DRN200L
AC	197	197	221	221	261	261	314	314	357	394
AD	157	157	170	170	228	228	253	253	268	283
ADS	158	158	172	172	228	228	253	253	268	283
L	728	778	809	859	877	903	969	969	992	1102
LS	822	872	921	971	1015	1040	1158	1158	1181	1307
LB	288	338	369	419	437	463	529	529	552	662
LBS	382	432	481	531	575	600	718	718	741	867

Figura 28. Tamaño de motorreductores sew

Fuente: Catalogo motorreductores Sew Eurodrive (2016)

Para tener más detalle técnico se usa el configurador de sew eurodrive en la web del fabricante donde se ingresa el modelo seleccionado previo calculo líneas arriba.

Figura 29. Configurador de Sew Eurodrive para selección de motorreductores

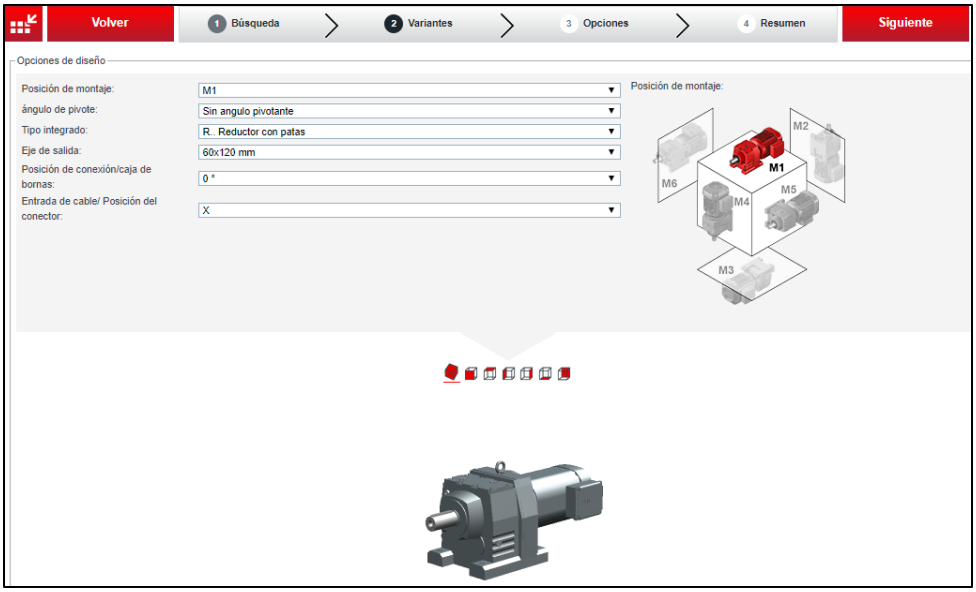
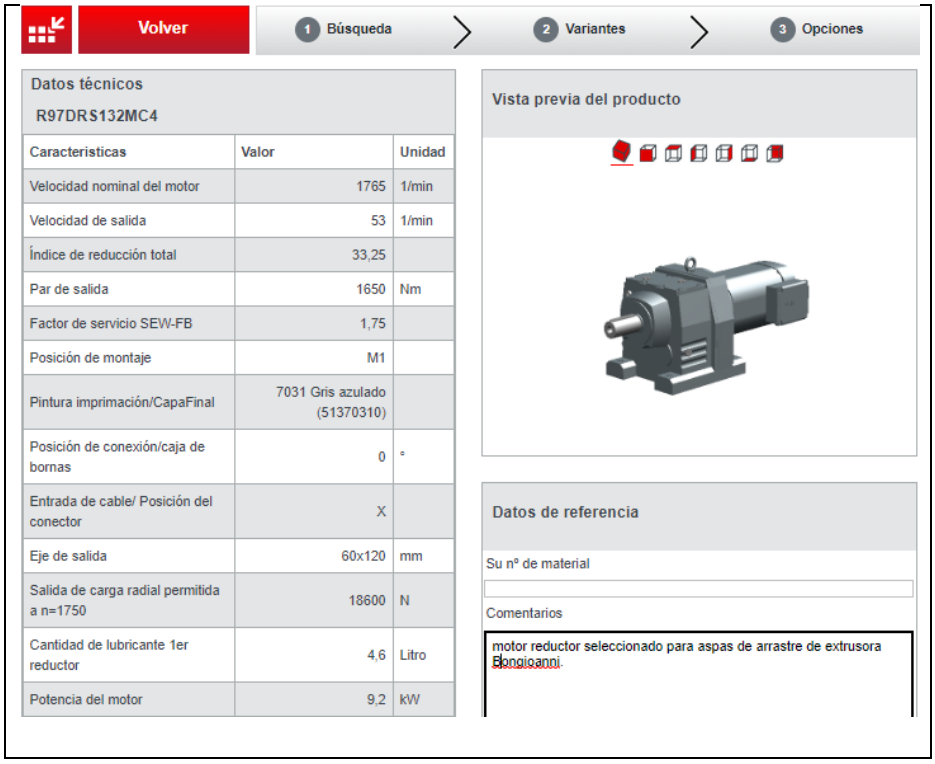


Figura 30. Configurador posición de montaje (M1)

Tabla 45. Selección de motorreductor



Caracteristicas	Valor	Unidad
Velocidad nominal del motor	1765	1/min
Velocidad de salida	53	1/min
Índice de reducción total	33,25	
Par de salida	1650	Nm
Factor de servicio SEW-FB	1,75	
Posición de montaje	M1	
Pintura imprimación/CapaFinal	7031 Gris azulado (51370310)	
Posición de conexión/caja de bornas	0	°
Entrada de cable/ Posición del conector	X	
Eje de salida	60x120	mm
Salida de carga radial permitida a n=1750	18600	N
Cantidad de lubricante 1er reductor	4,6	Litro
Potencia del motor	9,2	kW

Fuente: https://www.sew-eurodrive.com.pe/os/catalog/products/drives/acgearmotor/default.aspx

Se selecciona un motorreductor tipo R97DRS132MC4 con potencia de 9.2kw, 53 rpm de salida, posición de montaje M3, torque nominal 1650N/m y factor de servicio 1.75 con esto el equipo tendrá un torque máximo de 2887N/m mayor al calculado (2450.88N/m). Por lo tanto, el equipo está bien seleccionado.

3.3.9.3 Selección del nuevo sistema de arranque

El sistema de arranque actual esta con arranque directo esto ocasiona arranques muy bruscos que llegan en milisegundos a la máxima capacidad de torque del reductor, para mitigar este efecto y aumentar la confiabilidad al equipo se decide cambiar el sistema convencional por un arranque controlado en el tiempo (rampa de aceleración), otra ventaja de usar un variador de frecuencia es que no presenta picos de arranque y entrega el máximo torque progresivamente de acuerdo a la rampa consecuentemente hay una ahorro energético que oscila en un 25% menos al arranque tradicional.

Para la selección adecuada se tiene en cuenta lo siguiente.

Tipo de control	Aplicación de la máquina	Control de torque
	Ciclo de trabajo	Al 100% (60hz)
Aplicación	Manejo de solidos	Aspas de arrastre
	Motor eléctrico	Asíncrono tipo jaula de ardilla
Datos de motor	Potencia nominal	9.2kw
	Corriente nominal	16.6A
	Tensión nominal	440vac

Se debe tener en cuenta el torque de trabajo requerido de trabajo que es 1360N/m, con esto calcularemos la potencia de salida del variador.

$$Pv = \frac{0.14197 * 10^{-3} * RPM * T}{n}$$ Ecuación: 18

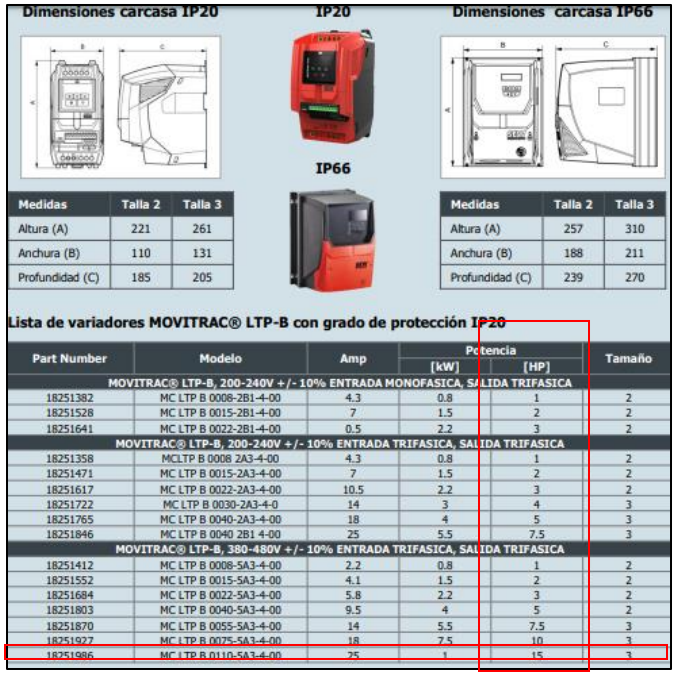
Leyenda

Pv: Potencia salida del variador
rpm: Velocidad angular de salida (rpm)
T: Torque de motorreductor
n: Eficiencia del motor (0.85)

$$Pv = \frac{0.14197 * 10^{-3} * 53rpm * 1360N/m}{0.85} = 12kw$$

$$12kw/0.746 = 16hp$$

Se selecciona un variador con esta capacidad de potencia en salida, para encontrar un equipo comercial y mantenible se usa el catálogo del fabricante SEW EURODRIVE donde observamos las medidas métricas y la potencia aproximada al cálculo realizado.



Dimensiones carcasa IP20

Medidas	Talla 2	Talla 3
Altura (A)	221	261
Anchura (B)	110	131
Profundidad (C)	185	205

IP20

IP66

Dimensiones carcasa IP66

Medidas	Talla 2	Talla 3
Altura (A)	257	310
Anchura (B)	188	211
Profundidad (C)	239	270

Lista de variadores MOVITRAC® LTP-B con grado de protección IP20

Part Number	Modelo	Amp	Potencia [kW]	Potencia [HP]	Tamaño
MOVITRAC® LTP-B, 200-240V +/- 10% ENTRADA MONOFASICA, SALIDA TRIFASICA					
18251382	MC LTP B 0008-2B1-4-00	4.3	0.8	1	2
18251528	MC LTP B 0015-2B1-4-00	7	1.5	2	2
18251641	MC LTP B 0022-2B1-4-00	0.5	2.2	3	2
MOVITRAC® LTP-B, 200-240V +/- 10% ENTRADA TRIFASICA, SALIDA TRIFASICA					
18251358	MCLTP B 0008 2A3-4-00	4.3	0.8	1	2
18251471	MC LTP B 0015-2A3-4-00	7	1.5	2	2
18251617	MC LTP B 0022-2A3-4-00	10.5	2.2	3	2
18251722	MC LTP B 0030-2A3-4-0	14	3	4	3
18251765	MC LTP B 0040-2A3-4-00	18	4	5	3
18251846	MC LTP B 0040 2B1 4-00	25	5.5	7.5	3
MOVITRAC® LTP-B, 380-480V +/- 10% ENTRADA TRIFASICA, SALIDA TRIFASICA					
18251412	MC LTP B 0008-5A3-4-00	2.2	0.8	1	2
18251552	MC LTP B 0015-5A3-4-00	4.1	1.5	2	2
18251684	MC LTP B 0022-5A3-4-00	5.8	2.2	3	2
18251803	MC LTP B 0040-5A3-4-00	9.5	4	5	2
18251870	MC LTP B 0055-5A3-4-00	14	5.5	7.5	3
18251927	MC LTP B 0075-5A3-4-00	18	7.5	10	3
18251986	MC LTP B 0110-5A3-4-00	25	1	15	3

Figura 31. Modelo de variadores Sew Eurodorive

Fuente: Catalogo motorreductores Sew Eurodrive (2016)

Para una contrastar la selección se usa el configurador del fabricante y si se observa que el equipo es comercial y está dentro de los parámetros mínimos requeridos.

Volver | 1 Búsqueda | 2 Opciones

Datos técnicos

MCLTPB0110-5A3-4-00

Caracteristicas	Valor	Unidad
Ref. de pieza variador	18251986	
Tamaño	3	
Filtro de red integrado	C2	
Potencia nominal	11	kW
Tensión	3x380-480	V
Corriente nominal de entrada	24,7	A
Tensión de salida	20-480	V
Corriente nominal de salida	24	A
Temperatura de ambiente mínima	0	°C
Temperatura de ambiente max.	+50	°C
Grado de protección IP	20	
Accesorios		
ND LT 036 081 53-20 (Reactancia)		

Vista previa del producto

Datos de referencia

Su nº de material

Comentarios

Figura 32. Configurador para selección de variador de frecuencia

Fuente: https://www.sew-eurodrive.com.pe/os/catalog/products/electronics/inverters/movitracltpb

Se selecciona el variador MCLTPB0110-5A3-4-00 con una capacidad de corriente en salida de 25 A y una capacidad de sobrecarga de 150% durante 60s comparado con los cálculos realizados si está dentro de los requerimientos, por lo tanto, el equipo está bien seleccionado.

3.3.9.4 Implementar algoritmo de control

Actualmente el control de la operación de la extrusora tecno 550 se viene desarrollando de forma manual (a juicio del operador), esto ocasiona que los motorreductores de las aspas de arrastre arranquen juntos con todo el sistema, ocasionando arranques bruscos a plena carga.

El RCM en el árbol de decisiones recomienda hacer un algoritmo de control para mitigar la sobrecarga efectuada sobre estos equipos, en nuestro caso proponemos un control con PLC usando compuertas logicas, AND, NOT, OR, NAND, NOR para obtener el control de la operación y no se sobrecargue los motorreductores de las aspas de arrastre que actualmente se vienen parando por sobrecargas y dañando cada cierto tiempo.

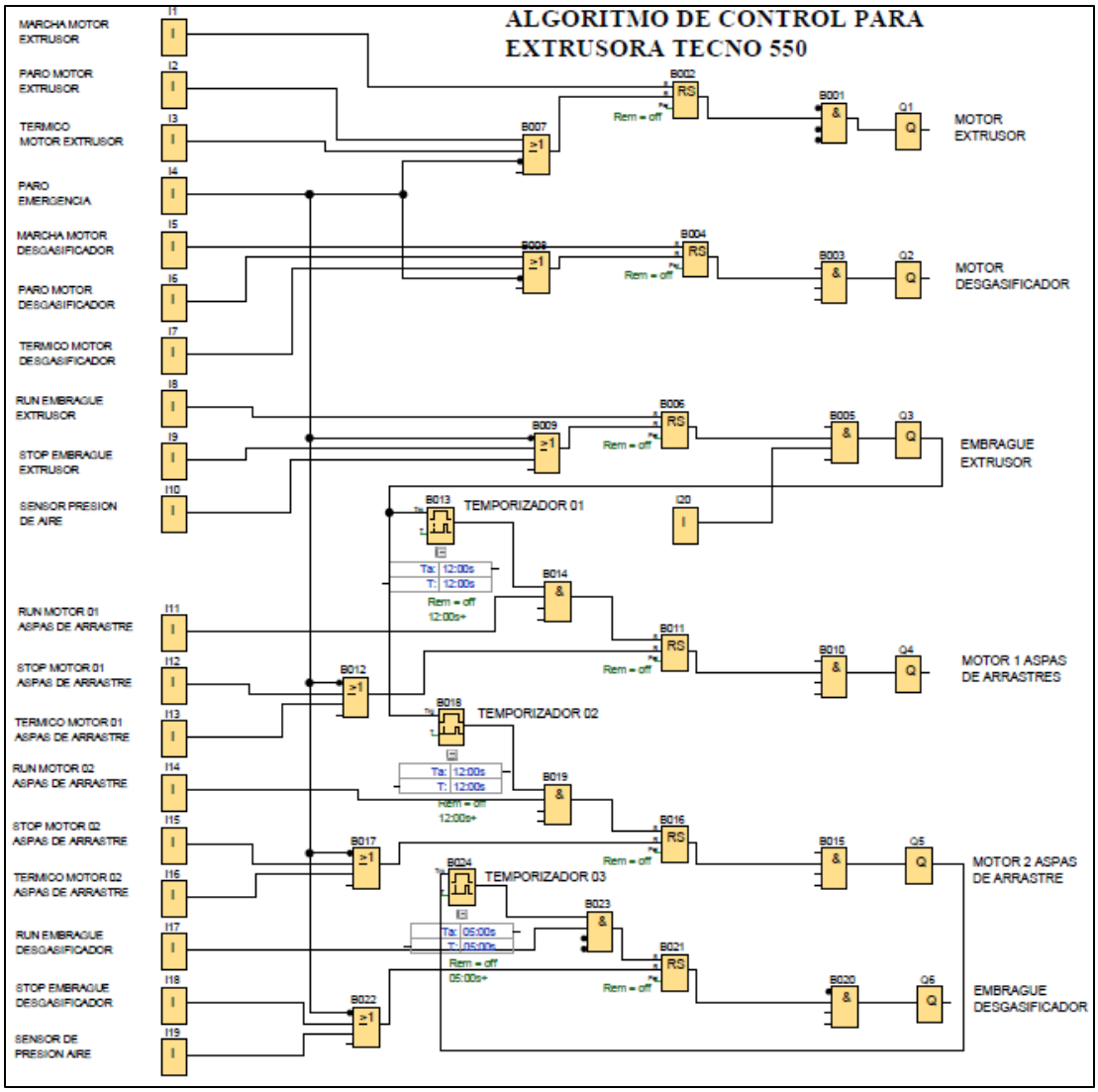


Gráfico 13. Algoritmo de control para extrusora Tecno 550

Fuente. Propia

3.4 Evaluación económica para la viabilidad del proyecto

El objetivo de este proyecto es mejorar la disponibilidad de línea de producción de ladrillos con una inversión económica viable y rentable para ello se evaluará las pérdidas económicas por la baja disponibilidad producidas por diferentes modos y la inversión que se realizará para este proyecto.

3.4.1 Pérdidas económicas por paradas de sistemas y máquinas

Se cuantifica las pérdidas económicas de los sistemas más críticos Molienda y Formado ya que en el análisis Pareto se observa esta zona mayor índices de fallas producidas por las fallas de máquinas y paradas por mantenimiento preventivo.

Tabla 46. *Pérdidas económicas por fallas de máquinas agosto 2018 a mayo 2019*

Proceso: **Línea de producción de ladrillos**			
Descripción: **Costo de paradas por fallas de máquinas**			
Prod- T/h	35t/h	Costo/Ton	S/220.00
Eficiencia de proceso	0.75	Corrección por proceso	0.80

		TTR (h)	Costo S/
2018	AGOSTO	42.1h	S/124,191.00
	SETIEMBRE	23.3h	S/89,386.00
	OCTUBRE	24.5h	S/94,056.00
	NOVIEMBRE	7.7h	S/10,988.00
	DICIEMBRE	8.7h	S/15,978.00
2019			
	ENERO	10.1h	S/26,789.00
	FEBRERO	18.6h	S/67,413.00
	MARZO	7.8h	S/15,594.00
	ABRIL	18.0h	S/43,263.00
	MAYO	15.6h	S/59,816.00
	TOTAL	**176.28h**	**S/784,980.00**

Fuente: Propia

Las paradas por mantenimiento preventivo actualmente se vienen realizado 1 vez por semana para realizar actividades de recambio y recuperación de componentes que han sufrido desgaste por el mismo uso, los más usuales son en Extrusoras, Mezcladores y Molinos. Estos equipos son críticos desde el punto de vista productivo, parar esto equipos significa parara todo el sistema de molienda y formado ya que están instalados en línea del sistema.

Tabla 47. *Pérdidas económicas por paradas de mantenimiento preventivo*

Proceso: **Línea de producción de ladrillos**				
Descripción: **Costo por paradas de mantenimiento preventivo (PM)**				
Prod- T/h	35t/h	Costo/Ton	S/220.00	
Eficiencia de proceso	0.75	Corrección por proceso	0.80	
		PM (h)		Costo S/
2018	AGOSTO	53.0h		S/254,300
	SETIEMBRE	45.0h		S/215,915
	OCTUBRE	48.0h		S/230,309
	NOVIEMBRE	51.0h		S/244,703
	DICIEMBRE	46.0h		S/220,713
2019	ENERO	48.0h		S/230,309
	FEBRERO	45.0h		S/215,915
	MARZO	48.0h		S/230,309
	ABRIL	51.0h		S/244,703
	MAYO	46.0h		S/220,713
	TOTAL	**481h**		**S/2,307,889**

Fuente: Propia

3.4.2 Inversión económica

3.4.2.1 Capacitación técnica

Teniendo en cuenta que la disponibilidad de una máquina también depende de la buena operación, para esto los operarios deberán estar capacitados en diferentes materias según sus habilidades, estas capacitaciones deberán realizarse en escuelas técnicas certificadas para garantizar el aprendizaje de los participantes.

Tabla 48. *Costo de capacitaciones externas*

Capacitaciones externas					
Facilitadores: SENATI, TECSUP, Otros centros de formación					
Cant	Recursos	Materia	Costo/curso	# horas del curso	Costo S/
Mantenimiento					
2	Encargados de mantenimiento	Gestión de mantenimiento	S/2,500	36	S/5,000.00
1	Mecánico de mantenimiento	Mecánica y ajuste	S/1,500	36	S/1,500.00
1	Mecánico automotriz	Mecatrónica automotriz	S/1,800	36	S/1,800.00
2	Electricista	Automatización industrial	S/1,800	36	S/3,600.00
2	Soldador	Soldadura	S/1,600	36	S/3,200.00
Producción					
2	Operador de formado	Mecánica	S/1,500	36	S/3,000.00
2	Operador de molienda	Mecánica	S/1,500	36	S/3,000.00
2	Operador de secadero	Mecánica	S/1,500	36	S/3,000.00
2	Operador de descargador	Electricidad	S/1,500	36	S/3,000.00
2	Operador de Robot	Mecatrónica/ electricidad	S/2,000	36	S/4,000.00
2	Operador de horno	Electricidad	S/2,000	36	S/4,000.00
		Total			**S/35,100.00**

Fuente: Propia

Tabla 49. *Costos de capacitaciones internas*

Capacitaciones internas					
Facilitadores: Encargados de mantenimiento y técnicos con mayor experiencia					
Cant	Recursos	Materia	Costo/h-h	#horas	Costo S/
3	Facilitadores	Varios	9.5	120	S/3,420.00
Mantenimiento					
4	Ayudantes mecánica	Mantenimiento de máquinas	6.5	30	S/780.00
2	Electricistas II	Electricidad/automatización	7.5	30	S/450.00
3	Ayudantes soldadura	Mantenimiento de máquinas	6.5	30	S/585.00
Producción					
2	Operador de formado	Mecánica /Electroneumática	7.5	25	S/375.00
2	Operador de Automatismos	Automatización industrial	7.5	25	S/375.00
2	Operador de molienda	Mecánica /Electroneumática	6.5	25	S/325.00
6	Operador de secadero	Mecánica/electricidad	7.5	25	S/1,125.00
6	Operador de descargador	Mecánica/electricidad	6.5	25	S/975.00
3	Operador de Robot	Electricidad/ electroneumática	7.5	25	S/562.50
3	Ayudante operación formado	Electricidad/Mecánica	7.5	25	S/562.50
		Total			**S/9,535.00**

Fuente: Propia

3.4.2.2 Costos del rediseño

Los equipos, materiales y mano de obra son necesarios para la ejecución del rediseño que se propone para mejorar la confiabilidad, en este caso se describen los equipos, materiales, parada de subsistema y mano de obra y que serán usados en esta actividad

Tabla 50. *Materiales para implementación del rediseño del accionamiento*

REDISEÑO DE ACCIONAMIENTO PRENSA BONGIOANNI **Aspas de arrastre**					
Descripción: Equipos y materiales					
Cant	**Unid**	**Recursos**	**Material**	**COST/UNIT**	**Costo S/**
2	PZ	MOTORREDUCTOR R97DRS132MC4	Mecánica	S/13,997.16	S/27,994.32
2	PZ	VARIADOR DE FRECUENCIA MCLTPB0110-5A3-4-00	Electrónica	S/1,502.14	S/3,004.28
2	PZ	PERFIL FE VIGA U 4"X7.25LBS/PIEX20'	MECANICA	S/350.00	S/700.00
1	CJTO	FERRETERÍA VARIOS	MECANICA	S/550.00	S/550.00
1	CJTO	INSUMOS VARIOS	MECANICA	S/250.00	S/250.00
		Total			**S/32,498.60**

Fuente: Propia

El recurso humano en necesario para esta tarea, para ello se requiere técnicos calificados en cada materia, mecánica, eléctrica, soldadura, y la ingeniería para el desarrollo y la supervisión.

Tabla 51. *Mano de obra para la implementación del rediseño propuesto*

REDISEÑO DE ACCIONAMIENTO PRENSA BONGIOANNI				
Descripción: Mano de obra				
Cant	**Recursos**	**COST/H-H**	**#HORAS**	**Costo S/**
3	TÉCNICO SOLDADOR	S/7.50	16	S/360.00
2	TÉCNICO MECÁNICO	S/8.00	8	S/128.00
2	TÉCNICO ELECTRICISTA	S/7.50	16	S/240.00
2	AYUDANTE MECÁNICO	S/6.50	8	S/104.00
1	DISEÑO Y SUPERVISIÓN	S/11.50	24	S/276.00
	Total			**S/1,108.00**

Fuente: Propia

3.4.3 Costo total de RCM y el rediseño del subsistema propuesto

En la siguiente tabla se detalla el costo total para el mantenimiento centrado en la confiabilidad, está incluido el costo por las capacitaciones al personal técnico y operario, el costo del Software para mantenimiento (CMMS) y la implementación del rediseño propuesto en un equipo de la extrusora Bongioanni, incluido la parada por 8 horas del subsistema para intervenir las aspas de arrastre.

Tabla 52. *Costo total por el RCM y el rediseño propuesto*

COSTO DEL RCM Y REDISEÑO PROPUESTO			
Descripción: Costo total por RCM y rediseño de subsistema propuesto			
Capacitaciones al personal	**MP-Software CMMS**	**Rediseño del subsistema**	**Total, Costo S/**
S/51,000.00	S/11,725.00	S/52,799.02	**S/115,524.02**

Fuente: Propia

3.4.4 Valor actual neto VAN y tasa interna de retorno TIR

Para calcular el Valor Actual Neto se usa la siguiente fórmula, servirá para determinar la viabilidad del proyecto, y su rentabilidad en un periodo de 12 meses (1 año).

$$VAN = -I0 + \sum_{j=1}^{n} \frac{Fj}{(1+\mathrm{i})} \qquad \text{Ecuación: 19}$$

Donde

Fj: Flujo Neto en el periodo j
I_0: Inversión en el periodo 0
i: Tasa de descuento de la inversión
n: Horizonte de Evaluación

Tabla 53. *Cálculo del VAN y el TIR*

# Meses (n)= **12**	Tasa de interés (i)= 10**%**	Inversión inicial (Io)= **S/109,159.02**

Meses	**Flujo efectivo Neto**	**$(1+i)^j$**	**$Fj/(1+i)^j$**	**Tasa de descuento**	**VAN**
0	**-S/115,524.02**		**-S/115,524.02**	0%	S/1,084,475.98
1	S/100,000.00	1.10	S/90,909.09	5%	S/770,801.14
2	S/100,000.00	1.21	S/82,644.63	10%	S/565,845.16
3	S/100,000.00	1.33	S/75,131.48	15%	S/426,537.88
4	S/100,000.00	1.46	S/68,301.35	20%	S/328,397.65
5	S/100,000.00	1.61	S/62,092.13	25%	S/256,988.19
6	S/100,000.00	1.77	S/56,447.39	30%	S/203,501.98
7	S/100,000.00	1.95	S/51,315.81	35%	S/162,393.28
8	S/100,000.00	2.14	S/46,650.74	40%	S/130,066.33
9	S/100,000.00	2.36	S/42,409.76	45%	S/104,125.60
10	S/100,000.00	2.59	S/38,554.33	50%	S/82,934.51
11	S/100,000.00	2.85	S/35,049.39	55%	S/65,348.67
12	S/100,000.00	3.14	S/31,863.08	60%	S/50,550.52
		VAN	**S/565,845.16**	**TIR**	**87%**

Fuente: Propia

Para culminar el análisis financiero se efectúa una evaluación de beneficio costo donde nos permitirá conocer en cuanto tiempo se recuperará la inversión por el RCM en la empresa.

Tabla 54. *Relación costo beneficio*

Meses	Ingresos	Costos	Inversión
			S/115,524.02
1	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
2	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
3	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
4	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
5	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
6	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
7	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
8	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
9	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
10	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
11	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
12	S/1,200,000.00	S/940,000.00	
	∑i		S/1,386,288.27
	∑C		S/1,085,925.81
	∑C+Inv		S/1,201,449.84
	Ratio B/C		**1.15**
	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	**6.5**	**Meses**

Fuente: Propia

Se determina que el proyecto es muy rentable y la tasa interna de retorno es muy alta, conociendo estos indicadores se da por aprobado la ejecución de este proyecto, se observa el costo beneficio de la inversión de S/115,524.02 se recuperará con solo ejecutar el rediseño del subsistema propuesto en un periodo de 6.5 meses muy aparte del incremento de disponibilidad de los sistemas más críticos que promedia los S/9,200.00 por día que se realizará con las mejores técnicas de la ingeniería de confiabilidad y haciendo más eficientes las paradas por mantenimiento preventivos para reducir las horas de parada e incrementar el MTBF (Tiempo promedio entre fallas).

IV. DISCUSIÓN

En la investigación realizada tiene como resultados de la situación actual del mantenimiento un índice de conformidad excelente de un 8.5% y conformidad regular del 51% también se obtuvo resultados de una conformidad deficiente del 38% (Grafico 5) que significa, que el tipo de mantenimiento que se viene realizando está con una aceptividad regular y que se puede mejorar con nuevas técnicas como el RCM que se está proponiendo en mi tesis, concuerdo con SALAZAR (2019) que en su tesis realizó una técnica muy semejante a mi proyecto, realizar un diagnóstico a la situación actual de la empresa, donde concluyó que la situación está unos puntos por debajo de lo óptimo en lo que es mantenimiento preventivo y para mejorar se tiene que aplicar planes de acción basadas en el RCM, asimismo discrepo con MACEDO (2018) que en su tesis aplicación del Mantenimiento centrado en la confiabilidad no se realizó un diagnóstico situacional para conocer el estado actual del mantenimiento ya que esto ayuda a la evaluación final y observar la evolución en el tiempo, considerando que de vital importancia es tomar algunas técnicas que se desarrollan ya que muchas de estas están hechas de acuerdo a la cada realidad de un activo, no siempre funciona una técnica para todo sistema, estas son determinadas de acuerdo a cada necesidad y funcionalidad.

Se realizó una evaluación de los indicadores como MTBF, MTTR, para conocer la disponibilidad actual de los sistemas, se tomó una muestra desde el mes de agosto del 2018 hasta mayo del 2019, de los cuales se pudo determinar a través de la técnica 80/20 de Pareto que la baja disponibilidad se produce por las fallas producidas en los sistemas de formado y molienda (grafico 08) en los demás sistemas la disponibilidad está en un promedio aceptable por lo tanto se decide usar más recursos en estos sistemas identificados como críticos que están en promedio de 73% de disponibilidad. Según (Torres, 2018, p.73) la disponibilidad es un indicador importante que no se menciona objetivamente en la norma KPI […] que mide la eficiencia, en otras palabras, la disponibilidad operacional, con la que se utiliza un activo físico de producción […] permite identificar los factores que influyen negativamente en la eficiencia de un activo de producción, para las empresas industriales de clase mundial este KPI es muy relevante superiores al 85%.

Seguidamente se determinó la criticidad de los equipos en la línea de producción se realizó un análisis basado en los conceptos de riesgos que permite establecer una jerarquía de los sistemas y equipos en función a sus variables de frecuencia y consecuencias de los cuales se obtuvo que el sistema más crítico del proceso de producción de ladrillos es el sistema de

formado extrusión por sus alta tasas de fallas que se dan en algunos de los subsistemas como la extrusora Tecno 550, cortadora vertical y automatismo de carga. Concuerdo con SALAZAR (2019) quién realizó un análisis de criticidad para resaltar el equipo más crítico y fue un compresor con un índice de 759, esto significa que es un equipo esencial en el proceso de producción de hielo y una ocurrencia de falla causaría pérdidas significativas para la empresa. producción de hielo y si existe una ocurrencia de falla causaría daños significativos en la empresa.

Lugo se propone el mantenimiento basado en la confiabilidad bajo los requerimientos del contexto operacional de cada sistema, se evalúa las funciones y fallas funcionales de cada sistema crítico para luego analizar los modos y efectos de fallas con el AMEF, después de este paso se usó la técnica de árbol de decisiones del RCM para poder implementar las tareas y actividades con las frecuencias de cada activo como mantenimiento preventivo (PM) y predictivo (P_dM), una vez identificadas las tareas y sus periodos de ejecución se propone un sistema CMMS que tenga funciones similares al RCM para el control del mantenimiento en todo los ámbitos, repuestos, herramientas, control de Ordenes de trabajos (OT), análisis de causa raíz y registro de todos los activos de planta.

Propongo capacitación al personal técnico y operario ya que es muy útil para el buen funcionamiento de cualquier sistema, esto permite dar soluciones rápidas a fallas primarias, coincido con CORMILLUNI (2019) en su tesis Propuesta de mejora en el sistema de gestión de mantenimiento utilizando el RCM en el proceso de producción y extendido de asfalto, concluye que la falta de capacitaciones se dan muchas fallas en los sistemas.

Como el objetivo principal del RCM es identificar las fallas funcionales de cualquier sistema que tiene altas tasas de fallas a través de sus técnicas antes descritas y dar una solución definitiva, en nuestro caso se da solución al sistema más crítico de la línea de producción que es la extrusora Tecno 550, esta solución incluye rediseño de los accionamientos de las aspas de arrastre y rediseño del sistema de arranque por un arranque tecnológico, también se propone implementar un control algorítmico para controlar la operación por la sobrecargas que vienen sufriendo estos equipos por el control manual que se realiza.

Todo el rediseño se justifica técnicamente y económicamente y es viable por el alto porcentaje del TIR y el beneficio costo es muy positivo.

V. CONCLUSIONES

- **Primera conclusión**

Después de diagnosticar el estado actual del mantenimiento en la empresa Inversiones Mocce S.A Ladrillos Lark, se obtuvo conformidades del 8% como excelente, el 51% regular y el 38% como deficiente, esto es un indicador que el proceso de mantenimiento que se viene realizando en planta no es el más adecuado. Se observó que no se tiene control documentario, no se aplica técnicas de ingeniería de mantenimiento, el mantenimiento preventivo se efectúa en ciertas zonas y las demás quedan hasta el run to failure, esto ocasiona paradas imprevistas en cualquier momento y cualquier parte del proceso. El 22% personal de mantenimiento no tiene estudios técnicos y el 68.7% de operarios no tiene capacitaciones ni estudios técnicos para sus puestos de operación, esto dificulta al proceso de mantenimiento ya que no se tiene soportes técnicos para resolver fallas menores.

Para el diagnóstico de la disponibilidad actual de los sistemas y equipos de planta se usó técnica de recolección de datos por un periodo de 10 meses desde agosto del 2018 hasta mayo del 2019, esto permitió conocer los indicadores de MTBF y MTTR para poder calcular la disponibilidad de cada sistema, para el análisis de la disponibilidad calculada se usó técnicas de Pareto y se concluyó que la baja disponibilidad de toda la línea está en los sistemas de formado, molienda y secaderos, de los cuales la de mayor tasa de fallos es el sistema de formado, por lo tanto se dispone el usos de mayor recursos en esta zona porque representa el 80% de las causas de la baja disponibilidad de la línea.

- **Segunda conclusión**

Se realizó un análisis de criticidad de los sistemas y equipos usando técnicas basada en el riesgo, esto permitió jerarquizar los sistemas y equipos más críticos por sus frecuencias y consecuencias de las cuales se obtuvo que el sistema de baja criticidad es el premezclado secadero y apilado, los de media criticidad son el sistema de molienda, horno y pre horno con la energía eléctrica y el más crítico es el formado o extrusión. Seguidamente se realizó jerarquización de los subsistemas y equipos donde se determinó que los equipos con más fallas son el molino de martillos en molienda, la extrusora tecno 550, cortadora vertical y el automatismo de carga estos pertenecen al sistema de formado, y en el sistema de horno se detectó el subsistema de encendido autónomo Jolly a GNC.

- **Tercera conclusión**

Se realiza análisis de modos y efecto de fallas AMEF para evaluar el RPN de cada subsistema encontrado como crítico y medio crítico de los cuales se definió que el más alto índice de riesgo está en extrusora Tecno 550 y es un equipo llamado aspas de arrastre.

Se propone mantenimiento preventivo y predictivo en los equipos de criticidad media y baja ya que se observó que sus fallas son el 70% por falta de mantenimiento e inspección adecuada. Para controlar el mantenimiento se propone adquirir un CMMS sistema computarizado para la gestión de activos, esto servirá para poder tener control y medición del mantenimiento adecuadamente, también propongo capacitación al personal técnico y operario porque el 30% de las fallas son operativas en los diferentes sistemas.

A través del análisis AMEF recomiendo el rediseño de acuerdo al árbol de decisiones por lo tanto sustenta técnicamente y económicamente el rediseño del sistema con más tasas de fallos y baja confiabilidad, se recalculó los accionamientos de las aspas de arrastre y cambio del sistema de arranque con control de rampa en el arranque, también propongo implementar un algoritmo de control operacional para evitar las sobrecargas a los mecanismos ocasionando las fallas y deterioro de los motorreductores de las aspas de arrastre.

- **Cuarta conclusión**

Para el análisis financiero de realizó evaluaciones de pérdidas económicas por paradas del sistema más crítico que suma una cantidad de S/396,755.00 solo por paradas de este subsistema y por paradas de máquinas de toda la línea de producción que llegan a sumar S/784,980.00 en solo 10 meses de producción, también se analizó los costo por paradas del mantenimiento preventivo de un sector de planta asciende a S/2,307,889 en el mismo periodo, esta última cantidad disminuirá si se aplica nuevas técnicas de mantenimiento de acuerdo a cada funcionalidad de los sistemas reduciendo a un 20% del costo inicial.

También se evaluó los costos de inversión que son necesarios para la implementación de la propuesta, esto incluye las capacitaciones internas y externas, costo del software para CMMS y el costo por el rediseño del equipo más crítico que suma una cantidad de S/115,524.02. con estas cifras se realizó el análisis del VAN Y el TIR concluyendo que el proyecto es viable por su alta tasa de retorno 87%, en el costo beneficio se observa que la inversión será devuelta en 6.5 meses.

VI. RECOMENDACIONES

- Capacitar al personal del área de mantenimiento, para incrementar sus conocimientos técnicos y puedan dar soluciones y mejoras en el mantenimiento de los activos.

- Capacitar al personal operario para que sean el soporte inmediato, considerando que ellos son los que tienen el contacto directo con las máquinas y conocen sus fallas funcionales, esto ayudará a dar soluciones rápidas primarias, antes que una falla llegue hasta la parada definitiva.

- Realizar una evaluación de criticidad cada 3 meses en los sistemas con ms tasas de fallas como molienda y formado, esto dará indicadores de que equipos están cambiando de la zona críticas a media críticas o llegar a una zona de baja criticidad.

- Cada 06 meses hacer un nuevo AMEF para evaluar el RPN de cada equipo o componente, esto conllevará a una reevaluación de las tomas de decisiones según el RCM que puede ser un ajuste del mantenimiento preventivo, predictivo o basado en condición si no se llegara a solucionar con ellos se puede pasar al rediseño previamente sustentado técnicamente y económicamente.

- Adquirir el CMMS que es muy importante para el control y gestión del mantenimiento, el que propongo es un sistema que está muy ligado al RCM y tiene múltiples funciones que ayudarán a administrar los repuestos, herramientas y mano de obra. Si se controla adecuadamente los activos se podrá obtener indicadores de clase mundial.

- Implementar el rediseño de la extrusora Tecno 550 que se identificó como subsistema crítico, lo que incluye el cambio de accionamientos y sistema de arranque de las aspas de arrastre, también implementar el algoritmo de control que servirá para una buena operación y no se sufra sobrecargas bruscas y terminen dañando los motorreductores de las aspas de arrastre.

REFERENCIAS

-ASATO, Juan y VILLANUEVA, Justo. Diseño y optimización de un plan de mantenimiento de una planta de producción de ladrillos crudos de 40 T/H basado en el mantenimiento centrado en confiabilidad. Tesis [Bachiller en ingenieria mecanica]. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria, 2017. disponible en http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/8312 .

-BEN-DAYA, Mohammed, KUMAR, Uday y MURTHY, D. Introduction to Maintenance Engineering. Dhahran : John Wiley & Sons, Inc. 2016. 643pp. ISBN: 9781118487198.

-BLOCH, Heinz y BANNISTER, Kenneth. Practical Lubrication for Industrial Facilities. 3ª. London: Fairmont Press, Inc. 2016. 570pp. ISBN: 9781138626799.

-CACHAY Chávez y VELEZMORO Chilón. Implementación de un plan de mejora en el procesamiento de la fabricación de ladrillo cerámico para aumentar la productividad en el área de producción en la empresa CECAJ srl - Cajamarca 2018. Tesis [Bachiller en ingenieria Industrial]. Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2018. Disponible en http://refi.upnorte.edu.pe/bitstream/handle/11537/13342/Cachay%20Ch%C3%A1vez%20Nelly%20Marisa%20-%20Velezmoro%20Chil%C3%B3n%20Willy%20No%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

-CAMPBELL, John y REYES, James. Strategies for Excellence in Maintenance Management. 3ª. New York : Taylor & Francis Group, LLC. 2016. 478pp. ISBN 139781482252385.

CORMILLUNI, Jaqueline. Propuesta de mejora en el sistema de gestión de mantenimiento utilizando el RCM en el proceso de producción y extendido de asfalto. Tesis [bachiller en ingenieria industrial]. Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2019. disponible en http://hdl.handle.net/10757/625583.

-DEIGHTON, Michael. Facility Integrity Management. Oxford : Elsevier. 2016. 236pp. ISBN:9780128017647.

-DEVARAJ, B y KUMAR, Soni. Research Review on Reliability Centred Maintenance. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology* [En

linea]. Vol.5, 06-junio 2016, [Fecha de consulta:04 octubre 2018]. Disponible en https://www.ijirset.com/upload/2016/june/14_RESEARCH.pdf. ISSN:2319-8753.

-DIAZ, Purisaga. Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de la planta N°1 de la empresa Corporación REX S.A., Carabayllo - 2017. Tesis [Bachiller en ingenieria Industrial] Lima: Universidad Cesar Vallejos (UCV), 2017. Disponible en. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13281/D%C3%ADaz_PCE.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

-FOCKE , Markus y STEINBECK, Jörn. Steigerung der Anlagenproduktivität durch OEE-Management. Alemania: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. 2018. 62pp. ISBN: 9783658214555.

-GUZMAN, Gonzales. Propuesta de mantenimiento preventivo y planificado para la línea de producción en la empresa LATERCER S.A.C. Tesis [Bachiller en ingenieria Industrial] Chiclayo: Universidad Santo Toribio de Mogrobejo (USAT), 2016. Disponible en http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/usat/830/1/TL_GonzalesGuzmanJorgeLuis.pdf

-KAPUR, *et al*. System Performance and Management Analytics. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. 418pp. ISBN:789811073229.

-KIRAN, D.R.- Mantenimiento Productivo Total, En su: Total Quality Management. Cambridge: BSP Books Pvt .2017. pp. 177-192. ISBN:9780128110355.

-KIRAN, *et al*. Reliability evaluation and Risk based maintenance in a process plant. *International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology* [En línea].2016, [Fecha de consulta: 02-de octubre 2018]. Disponible en https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316302067?via%3Dihub

-KUMAR, Dilip y D, KUMAR. Management of Coking. Waltham: Elsevier Inc. 2016. 294pp. ISBN:9780128031605.

LEROY, Alain. *Production Availability and Reliability.* Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2018. 314pp. ISBN: 9781786301680.

-LEVITT, Joe. TPM Reloaded. New York : Industrial Press, Inc. 2010. 226pp. ISBN: 9780831134266.

-MEOLA, Carosena, BOCCARDI, Simone y CARLOMAGNO, Giovanni. Infraredthermography in the evaluation of aerospace composite materials. Duxford : Elsevier Ltd. 2017. 167pp. ISBN: 9780857092113.

-MORELOS, José y NUÑEZ, Miguel. Productividad de las empresas de la zona extractiva minera-energética y su incidencia en el desempe˜no financiero en Colombia. [En línea] 07-diciembre 2017. [Fecha de consulta: 28 de Setiembre de 2018.] Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592317300736

-RINCON, Ortega. Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (rcm) para el horno rotatorio allis chalmers en la planta de cemento cucuta, CEMEX Colombia S.A. Teisis [Bachiller en Ingenieria Mecanica]. Ocaña, Universidad Francisco de Paula santander ocaña, 2016. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6107?locale-attribute=en

Peng, Kern. *Equipment Management in the Post-Maintenance Era.* Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC, 2012. 215pp. ISBN: 13 978146601973.

-PIECHNICKI, Flávio; LOURES, Eduardo y SANTOS, Eduardo. A conceptual framework of knowledge conciliation to decision Making Support in RCM deployment. [En línea]. 30 junio 2017, [Fecha de consulta: 11 de octubre 2018]. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304432

-Ren, He; Chen, Xi y Y,Chen. Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications. Oxford : Shanghai Jiao Tong University Press, 2017. 236pp ISBN:9780128126684.

-SAHA, Dipankar; SYAMSUNDER, Mahalakshmi y CHAKRABORTY, Sumanta. Manufacturing Performance Management using SAP OEE. Kolkota, West Bengal: Dipankar Saha, 2016. 338pp. ISBN: 9781484211519.

-SAMPIERI, Roberto; FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, Maria. Metodología de la investigación. 6ª. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2014. 589pp. ISBN: 978145622390

-SCHIRRU, Michele. Development of an Ultrasonic Sensing Technique to Measure Lubricant Viscosity in Engine Journal Bearing In-Situ. University of Sheffield, Springer International Publishing, 2017. 167pp. ISBN: 9783319534077.

-***El punto*** *de disponibilidad y su impacto financiero – spark*. [Congreso de mantenimiento & confiabilidad] [En línea]. Mexico. Lucas Felipe Serano [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2018.]. Disponile en: https://cmc-latam.com/session/punto-disponibilidad-impacto-financiero-spark-2/

-SHABANA, Ahmed. Theory of Vibration. 3ª. Chicago : Springer International Publishing, 2019. 373pp. ISBN: 9783319942704.

-SIFONTE, Jesús y Reyes-Picknell, James. Reliability Centered Maintenance-Reengineered. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC. 2017. 349pp ISBN:139781498785174.

-SMITH, David. Reliability, Maintainability and Risk. 9a. Cambridge: Published by Elsevier Ltd. 2017. 454pp. ISBN: 9780081020104.

-TORTORELLA, Michael. Reliability, Maintainability and Supportability. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc. 2015. 425pp. ISBN: 9781118858882.

-UDAY, *et al*. Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety. New York: Springer International Publishing Switzerland, 2016. 738pp. ISBN:9783319235967.

-WIREMAN, Terry. Benchmarking Best Practices for Maintenance, Reliability and Asset Management-Industrial. 3ª. New York: Industrial Press, Inc. 2015. 357pp. ISBN:9780831135034.

-Zuo, *et al*. Engineering Asset Management 2016. Cham : Springer International Publishing, 2016. 374pp. ISBN: 9783319622736.

ANEXOS

➢ **Planeación de mantenimiento en equipos críticos.**

Inversiones mocce S.A
Mantenimiento **06/07/2019 10:40 a.m.**

MOCCE
INVERSIONES MOCCE SA

Catálogos - Planes
PRENSA EXTRUSORA BONGIOANNI

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo	Clasificación 1
\PRENSA EXTRUSORA	LUBRICACION PERIODICA	1 Semana(s)	0 h 20 m	Alta	Preventivo	Lubricacion
\PRENSA EXTRUSORA\ AMASADOR DESGASIFICADOR	CAMBIO DE HELICES	12 Semana(s)	6 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	LUBRICACION PERIODICA	4 Semana(s)	0 h 10 m	Media	Preventivo	Lubricacion
\PRENSA EXTRUSORA\ AMASADOR DESGASIFICADOR\ CAJA REDUCTOR	CAMBIO DE ACEITE	28 Semana(s)	4 h 00 m	Alta	Preventivo	
	INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE	1 Semana(s)	0 h 10 m	Media	Preventivo	Lubricacion
\PRENSA EXTRUSORA\ AMASADOR DESGASIFICADOR\ EMBRAGUE	LIMPIEZA DE VALVULAS	24 Semana(s)	0 h 45 m	Media	Preventivo	Electricidad
	LIMPIEZA GENERAL DE EMBRAGUE	1 Semana(s)	0 h 10 m	Media	Preventivo	Mecanica
	REVISION DE DISCOS DE EMBRAGUE	24 Semana(s)	1 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
\PRENSA EXTRUSORA\ AMASADOR DESGASIFICADOR\ MOTOR ELECTRICO	LIMPIEZA GENERAL	4 Semana(s)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Electricidad
	LUBRICACION DE RODAJE DELANTERO	12 Semana(s)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Electricidad
	LUBRICACION DE RODAJE POSTERIOR	32 Semana(s)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Electricidad
\PRENSA EXTRUSORA\ PRENSA	CAMBIO DE ACEITE A CUERPO DE EXTRUSORA	40 Semana(s)	5 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	LUBRICACION PERIODICA DE COLECTOR	4 Semana(s)	0 h 10 m	Media	Preventivo	Lubricacion
\PRENSA EXTRUSORA\ PRENSA\ ASPAS DE ARRASTRE	CAMBIO DE ACEITE A MOTORREDUCTORES DE ASPAS	32 Semana(s)	2 h 30 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	REVISION DE ARPEONES Y PASTILLAS	1 Semana(s)	4 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
\PRENSA EXTRUSORA\ PRENSA\ CAJA REDUCTOR	CAMBIO DE ACEITE (OMALA 460)	28 Semana(s)	4 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	INSPECCION DE NIVELES DE ACEITE	1 Semana(s)	0 h 10 m	Media	Preventivo	Mecanica
\PRENSA EXTRUSORA\ PRENSA\ EMBRAGUE	LIMPIEZA DE VALVULAS	24 Semana(s)	0 h 45 m	Media	Preventivo	
	LIMPIEZA GENERAL DE EMBRAGUE	1 Semana(s)	0 h 10 m	Media	Preventivo	Mecanica
	REVISION DE DISCOS DE EMBRAGUE	24 Semana(s)	0 h 30 m	Media	Preventivo	Mecanica
\PRENSA EXTRUSORA\ PRENSA\ HELICES DE EXTRUSION	CAMBIO DE CHAQUETA DE EXTRUSION	12 Semana(s)	4 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	CAMBIO DE HELICES DE EXTRUSION	4 Semana(s)	5 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
\PRENSA EXTRUSORA\ PRENSA\ MOTOR ELECTRICO	LIMPIEZA GENERAL	4 Semana(s)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Electricidad
	LUBRICACION DE RODAJE DELANTERO	12 Semana(s)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Electricidad
	LUBRICACION DE RODAJE POSTERIOR	32 Semana(s)	0 h 10 m	Alta	Preventivo	Electricidad

Inversiones mocce S.A
Mantenimiento

06/07/2019 01:23 p.m.

Catálogos - Planes
MOLINO SECUNDARIO DE MARTILLOS

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo	Clasificación 1
	LUBRICACION PERIODICA	1 Mes(es)	3 h 00 m	Alta	Preventivo	Lubricacion
	EVALUACION DE SISTEMA TRANSMISION	1 Mes(es)	0 h 25 m	Media	Preventivo	Mecanica
	BALANCEO DINAMICO	1 Año(s)	3 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
\ ESTRUCTURA GENERAL	LIMPIEZA PERIODICA	2 Semana(s)	0 h 25 m	Baja	Preventivo	Limpieza
	INSPECCION DE GUARDAS	24 Semana(s)	0 h 30 m	Media	Preventivo	Mecanica
	PINTURA	1 Año(s)	3 h 00 m	Media	Preventivo	Pintura
\ MARTILLOS DE IMPACTO	INVERSION DE MARTILLOS	3 Semana(s)	0 h 40 m	Media	Preventivo	Mecanica
	CAMBIO DE MARTILLOS	6 Semana(s)	1 h 30 m	Alta	Preventivo	Mecanica
\ MOTOR ELECTRICO	INSPECCION DE MOTOR	6 Mes(es)	0 h 30 m	Baja	Preventivo	Electricidad
	MEDICION DE RESISTENCIA AISLAMIENTO	1 Año(s)	0 h 35 m	Baja	Predictivo	Electricidad
	LUBRICACION PERIODICA	12 Semana(s)	0 h 25 m	Media	Preventivo	Lubricacion
\ PARRILLAS DE IMPACTO	INPECCION VISUAL DE PARRILLAS	2 Día(s)	0 h 15 m	Media	Preventivo	Operarios

Inversiones mocce S.A
Mantenimiento **06/07/2019 01:25 p.m.**

Catálogos - Planes
EXTRACTOR DE HUMOS

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo	Clasificación 1
	Revision y limpieza	3 Mes(es)	0 h 30 m	Baja	Preventivo	Mecanica
	Balanceo dinamico	1 Año(s)	2 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	Reajuste y cambio de partes deterioradas	1 Año(s)	2 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	Pintura general	2 Año(s)	2 h 00 m	Baja	Preventivo	Pintura
\ MOTOR	Limpieza y evaluacion gral.	6 Mes(es)	0 h 45 m	Baja	Preventivo	Electricidad
	Mantenimiento mayor	3 Año(s)	8 h 00 m	Baja	Preventivo	Mecanica/Electrica
	Medir resistencia de aislamiento	1 Año(s)	0 h 30 m	Media	Predictivo	Electricidad
\ MOTOR\ FAJAS Y POLEAS	Revision general	3 Mes(es)	0 h 25 m	Media	Preventivo	Mecanica
\ ROTOR	Limpieza y reajuste interna	1 Año(s)	1 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
\ ROTOR\ CHUMACERAS	Lubricar y evaluar	2 Mes(es)	0 h 20 m	Alta	Preventivo	Lubricacion
\ TABLERO ELÉCTRICO\ COMPONENTES DE CONTROL	Revisar	4 Mes(es)	0 h 30 m	Baja	Preventivo	Electricidad
\ TABLERO ELÉCTRICO\ PLATINOS DE CONTACTORES	Revisar	4 Mes(es)	0 h 40 m	Baja	Preventivo	Electricidad

Inversiones mocce S.A
Mantenimiento

06/07/2019 01:24 p.m.

Catálogos - Planes
CORTADORA TD

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo	Clasificación 1
\ FAJA SALIDA	INSPECCION DE FAJA PVC	48 Semana(s)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Mecanica
	INSPECCION DE TRANSMISION MECANICA	6 Mes(es)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Mecanica
\ FAJA SALIDA\ MOTORREDUCTOR ELECTRICO	CAMBIO DE ACEITE A MOTORREDUCTOR	1 Año(s)	1 h 00 m	Baja	Preventivo	Lubricacion
	MEDICION DE RESISTENCIA AISLAMIENTO	1 Año(s)	0 h 35 m	Baja	Predictivo	Electricidad
\ MESA DE CORTE	CAMBIO DE GUIAS DE CADENAS	6 Mes(es)	0 h 45 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	INSPECCION DE RODILLOS MOTORIZADOS	12 Semana(s)	0 h 30 m	Media	Preventivo	Mecanica
	CAMBIO DE CADENAS Y PIÑONES	6 Mes(es)	1 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica
\ MESA DE CORTE\ MOTORREDUCTOR ELECTRICO	CAMBIO DE ACEITE A MOTORREDUCTOR	1 Mes(es)	0 h 45 m	Media	Preventivo	Lubricacion
	MEDICION DE RESISTENCIA AISLAMIENTO	1 Año(s)	0 h 35 m	Baja	Predictivo	Electricidad
\ PINZAS DE CORTE	INSPECCION DE GUIAS Y RUEDAS	4 Semana(s)	0 h 20 m	Media	Preventivo	Mecanica
	CAMBIAR PERNOS DE SUJECION	6 Semana(s)	0 h 20 m	Alta	Preventivo	Mecanica
	INSPECCION DE SISTEMA NEUMATICO	6 Mes(es)	0 h 35 m	Media	Preventivo	Neumatica
\ PRECORTADORA	EVALUACION DE FAJA PVC	24 Semana(s)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Mecanica
\ PRECORTADORA\ MOTOR ELECTRICO	MEDICION DE RESISTENCIA AISLAMIENTO	1 Año(s)	0 h 35 m	Baja	Predictivo	Electricidad
	MANTENIMIENTO MAYOR DE MOTOR ELECTRICO	3 Año(s)	0 h 10 m	Baja	Preventivo	Electricidad

Inversiones mocce S.A
Mantenimiento

06/07/2019 01:26 p.m.

Catálogos - Planes
AUTOMATISMO DE CARGA

Parte	Actividad	Frecuencia	Duración	Prioridad	Tipo	Clasificación 1
	Medicion del aislamiento en todos los motores	1 Año(s)	4 h 00 m	Baja	Predictivo	Electricidad
	Lubricacion periodica	8 Semana(s)	1 h 00 m	Baja	Preventivo	Lubricacion
	Cambio de aceite a motorreductores	2 Año(s)	4 h 00 m	Alta	Preventivo	Mecanica/Electrica
	Limpieza general	1 Día(s)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Limpieza
\ CENTRADOR DE VAGONETAS	Inspeccion de mecanismos	4 Mes(es)	0 h 25 m	Media	Preventivo	Mecanica
	Cambio de guias de candena	1 Año(s)	2 h 00 m	Media	Preventivo	Mecanica/Soldadura
\ ELEVADOR	Cambio de candenas de elevador	1 Año(s)	5 h 00 m	Media	Preventivo	Mecanica
\ ELEVADOR\ EMPUJADOR	Inspeccion de mecanismo	20 Semana(s)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Mecanica
\ ELEVADOR\ MESA DE ELEVADOR	Inspeccion de mecanismos	20 Semana(s)	0 h 30 m	Baja	Preventivo	Mecanica
	Reordenar y/o Cambiar cables moviles	20 Semana(s)	1 h 00 m	Alta	Preventivo	Electricidad
\ FAJA ENTRADA	Cambio de lonas PVC	4 Año(s)	4 h 00 m	Baja	Preventivo	Mecanica
	Inspeccion de mecanismos	20 Semana(s)	0 h 30 m	Baja	Preventivo	Mecanica
\ FAJAS LANZADORAS	Cambio de lonas PVC	2 Año(s)	2 h 00 m	Baja	Preventivo	Mecanica
	Evaluacion de transmision mecanica	20 Semana(s)	0 h 20 m	Baja	Preventivo	Mecanica

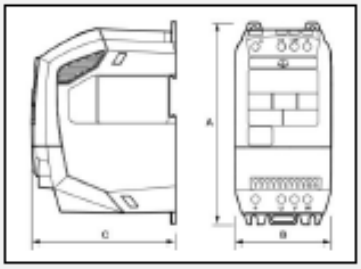
➢ **Ficha técnica de equipos seleccionados para el rediseño del subsistema**

Especificaciones Técnicas

SEW EURODRIVE

MOVITRAC® LTE B+ / 11 kW / 380 – 480 CA ±10 %VAC

MODELO: MOVITRAC LTE B.
TIPO: MC LTE B 0110-5A3-4-00
NUMERO DE PARTE: 18262112



ENTRADA DEL VARIADOR:

-Tensión nominal de la red [Vmains]: 380 – 480 CA ±10 %, 3-phase.
-Frecuencia nominal de la red [fmains]: 50/60 ±5 %.
-Corriente nominal de entrada [IN]: AC 27.5.
-Compatibilidad electromagnética (según EN 61800-3): CEM C2.

SALIDA DEL VARIADOR:
-Potencia del motor recomendado [PMot]: 11 kW / 15 HP.
-Corriente nominal de salida [IN]: AC 24A.
-Longitud máxima del cable del motor: 100m (apantallado), 150m (no apantallado).

INFORMACIÓN GENERAL:

-Masa [Kg]: 3.2.
-Talla: 3. Dimensiones (A x B x C): 261x131x175 mm.
-Montaje en riel DIN: No.
-Grado de protección: IP20/NEMA 1 .
-Valor mínimo de resistencia de frenado(ohm): 47.

FUNCIONALIDAD:

-Rango de velocidad del motor: -30000... 0... +30000 RPM.
-Frecuencia de salida máxima: 500 Hz
-Modo de control: V/f avanzado (1:10), LVFC (1:20), LSPM (1:10).
-Capacidad de sobrecarga (Imax): 150% (60 seg) / 175% (2 seg).
-Frecuencia de modulación PWM [kHz]: 2/4/6/8
-03 Entradas digitales: "1 lógico": DC 8... 30 V, "0 lógico": DC 0... 2 V.
-01 Entrada configurable:
  -Analógico (12 bits): 0-10 V, -10-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA, 20-4 mA.
  -Digital: "1 lógico": DC 8-30 V, "0 lógico": DC 0-2 V.
-01 Salida configurable:
  -Analógico (10 bits): DC 0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA.
  -Digital: DC 24 V, 20 mA.
-01 Salida de relé: AC 250 V / DC 30 V @ 5A.
-Puesta en marcha desde panel de variador, panel externo o PC (con software LT-Shell).
-Comunicación Can/Sbus/RS485/Modbus RTU.
-Funciones para aplicaciones específicas:
  -Regulador PI.
  -Modo Standby.
  -Arranque al vuelo / reconexión.
  -Modo fuego / Funcionamiento de emergencia.
  -Frenado de corriente continua.
  -Función ahorro de energía.
  -Modo maestro – esclavo.
  -Función de supresión.
-Funciones de protección integradas:
  -Corto circuito a la salida, fase-fase, fase-tierra.
  -Protección contra sobrecarga del variador y del motor.
  -Desconexión por sobretensión y subtensión.
  -Desconexión por temperatura excesiva o insuficiente.

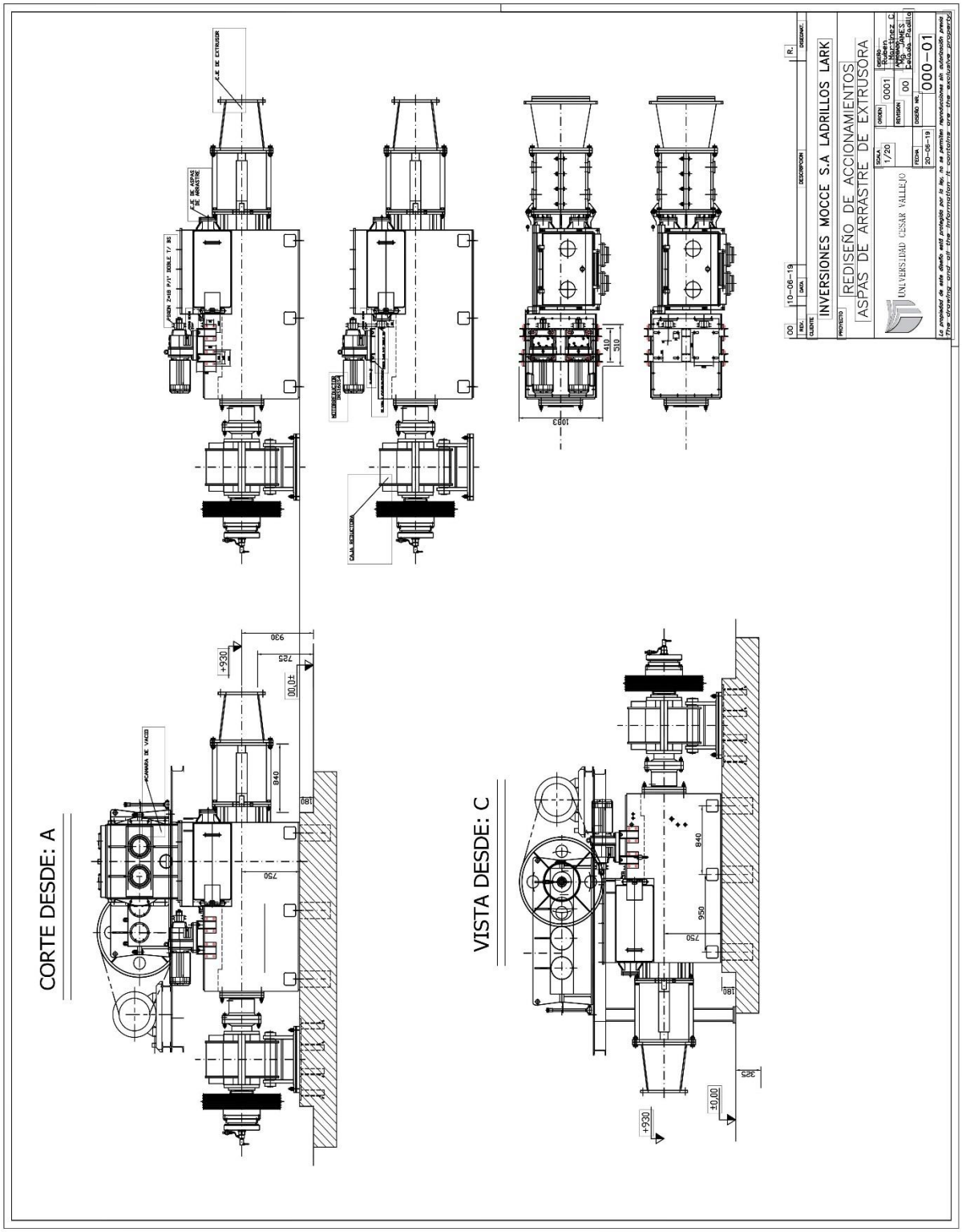
ACCESORIOS OPCIONALES:

-Reactancia de linea de entrada: ND030-023 (8271518)
-Reactancia de linea de salida: HD002 (8135576)
-Panel remoto Full-Text OLED: LT ZBG OLED A (28205731)
-Salida de relé secundaria: OB LT 2ROUT (18223168)
-Dos relés de señal: OB LT HVAC-B (18218180)
-Gateway de bus de campo:
PROFIBUS(DFP21B/UOH11B), **EtherCAT**(DFE24B/UOH11B),
DeviceNet (DFD11B/UOH11B), **PROFINET**(DFE32/UOH11B),
Ethernet/IP & Modbus TCP (DFE33B/UOH11B)

SEW EURODRIVE DEL PERÚ S.A.C.

www.sew-eurodrive.com.pe

- **Layout del rediseño del sistema más crítico**



Acta de aprobación de originalidad de tesis

UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	**ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS**	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1

Yo, **Mg. DECIDERIO ENRIQUE DIAZ RUBIO**, docente de la Facultad **DE INGENIERÍA** y Escuela Profesional **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** de la Universidad César Vallejo Chiclayo, revisor (a) de la tesis titulada

"MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL LADRILLOS LARK – LAMBAYEQUE"

Del estudiante **MARTÍNEZ CALVAY RUBÉN,** constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 27 de diciembre de 2019

.....

Mg. DECIDERIO ENRIQUE DIAZ RUBIO

DNI: 16728343

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación

Reporte turnitin

Mantenimiento Basado en la Confiabilidad para incrementar la Disponibilidad en línea de producción de la planta industrial ladrillos Lark – Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	5%	0%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	3%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
4	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	www.siem.gob.mx Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to ECCI	

Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV

UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 10 Fecha : 10-06-2019 Página : 1 de 1

Yo **RUBÉN MARTÍNEZ CALVAY**, identificado con DNI N° **45457018**, egresado de la Escuela Profesional de **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA** de la Universidad César Vallejo, autorizo (**X**), No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "**MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL LADRILLOS LARK – LAMBAYEQUE**"; en el Repositorio Institucional de la UCV (http://repositorio.ucv.edu.pe/), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

FIRMA

DNI: 45457018

FECHA: 05 de febrero del 2020

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación

Autorización de la versión final del trabajo de investigación

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

MARTÍNEZ CALVAY RUBÉN

INFORME TÍTULADO:

"MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL LADRILLOS LARK – LAMBAYEQUE."

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

SUSTENTADO EN FECHA : 19 – 12 – 2019

NOTA O MENCIÓN : Aprobado por Unanimidad.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO
COORDINACIÓN
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Mgtr. Dante Omar Panta Carranza
Coordinador de Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica

FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN